

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra metalurgie a slévárenství

**Optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků z grafitizujících
slitin železa**

Optimization of Molding Mixture Composition at Production of Casting from
Graphitizing Ferrous Alloys

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra metalurgie a slévárenství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Klára Prosová**
Studijní program: N2109 Metalurgické inženýrství
Studijní obor: 2109T038 Moderní metalurgické technologie
Téma: **Optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků
z grafitizujících slitin železa**
**Optimization of Molding Mixture Composition at Production of Casting
from Graphitizing Ferrous Alloys**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Změna klíčových parametrů ošťiva
3. Hodnocení vlastností JBS
4. Vliv vlastností JBS na povrchovou a vnitřní jakost litých součástí
5. Rozbor a zhodnocení výsledků
6. Ekonomické zhodnocení
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BROWN, J. *Foseco Ferrous Foundryman's Handbook*. Vyd. 1., Oxford: BUTTERWORTH HEINEMANN, 2000, 384 s. ISBN 978-07-5064-284-2.
- [2] BERGAYA, F. et al. *Handbook of clay science*. Oxford, Elsevier, 2006, ISBN-10: 0-08-044183-1.
- [3] JELÍNEK, P. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí*. Ostrava, 2004, 241 s., ISBN: 80-239-2188-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Beňo, Ph.D.**

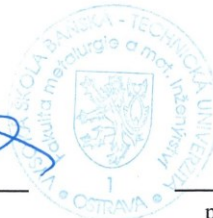
Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Hesoun

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 23.04.2018



prof. Ing. Karel Michalek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah DP |
| 2. Originál zadání DP | 7. Textová část DP |
| 3. Zásady pro vypracování DP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání DP. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

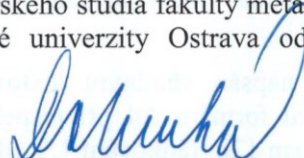
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 19. 4. 2018

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Abstrakt:

Cílem diplomové práce byla optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků z grafitizujících slitin železa formou implementace ostrůva Grudzeń Las do stávající jednotné bentonitové směsi s ostrůvem Střeleč. Výsledkem experimentu měla být optimalizace formovací směsi za účelem zlepšení jejích vlastností, snížení stupně oživování při minimálně zachování povrchové kvality litých součástí z grafitizujících slitin železa ve společnosti KASI spol. s.r.o.. V diplomové práci jsou hodnoceny vlastnosti formovací směsi před změnou skladby ostrůva, dále je pak sledován vliv změny ostrůva na formovací směs, stupeň oživování (přídavek nového bentonitu, nového ostrůva, rozdělovací vody, nosičů pyrolýzního uhlíku aj.) a hodnocena povrchová kvalita vyráběných odlitků jak komparativní metodou pomocí etalonů SVÚM, tak i kontrolou stupně neshodné výroby. Samotnou kapitolou diplomové práce je pak ekonomické zhodnocení zahrnující případné úspory a kalkulace daného experimentu.

Klíčová slova:

Jednotná bentonitová směs; Střeleč; Grudzeń Las; bentonit; nosiče pyrolýzního uhlíku; vlastnosti jednotné bentonitové směsi

Abstract:

The diploma thesis aims to optimize the composition of the molding mixture in the production of castings from graphitizing iron alloys by an implementation of the Grudzeń Las base sands into the existing uniform bentonite mixture with the Střeleč base sands. The result of the experiment was to optimize the molding mixture in order to improve its properties, reducing the degree of recovery with minimal preservation of the surface quality of casting components from graphitizing iron alloys at KASI spol. s.r.o. .. The diploma thesis evaluates the properties of the molding mixture before changing the base sands composition, then is monitored the effect of the change of the base sands on the molding mixture, the degree of recovery (addition of new bentonite, new base sands, water distribution, Lustrous carbon carrier, etc.), and the surface quality of the manufactured castings was assessed both by the comparative method using the SVÚM standards and by checking the degree of non-conforming production. The diploma thesis contains the chapter dealing with an economic evaluation including possible saving and calculation of the experiment.

Keywords:

Green sand; Střeleč; Grudzeń Las; bentonite; Lustrous carbon carrier; Green sand properties

Ráda bych tímto poděkovala panu Ing. Jaroslavu Beňovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a trpělivost během vedení této diplomové práce. Také bych ráda poděkovala panu Ing. Gustavu Cieslarovi a panu Ing. Pavlu Hesounovi za pomoc při získání potřebných hodnot a dat ke zpracování výsledků během praktické části diplomové práce. A také společnosti KASI spol s.r.o. za možnost vypracování diplomové práce v jejich firmě.

Obsah

1	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	1
2	Úvod	2
3	Ostřivo	3
3.1	Křemenné ostřivo.....	3
3.1.1	Zvýšená reaktivita v žáru.....	3
3.1.2	Neplynulá tepelná dilatace.....	4
3.1.3	Cristobalitická expanze.....	5
4	Jílová pojiva.....	6
4.1	Montmorillonit.....	6
4.1.1	Voda v jílových minerálech	6
4.1.2	Druhy bentonitů ve formovací směsi.....	7
4.2	Přísady bentonitových směsí	9
4.2.1	Sacharidy	9
4.2.2	Dřevitá moučka, lignin	9
4.2.3	Oxidanty	9
4.2.4	Grafit.....	10
4.2.5	Nosiče lesklého uhlíku	10
5	Jednotná bentonitová směs	11
5.1	Zkoušky jednotné bentonitové směsi.....	11
5.1.1	Zkouška spěchovatelnosti.....	11
5.1.2	Zkouška prodyšnosti.....	12
5.1.3	Zkouška vaznosti	12
5.1.4	Zkouška pevnosti ve stříhu	13
5.1.5	Stanovení vlhkosti	13
5.1.6	Sítový rozbor	13
5.1.7	Stanovení vyplavitelných podílů	14
6	Vady povrchu.....	16
6.1	Drsný povrch.....	16
6.2	Přípečeniny	16
6.3	Zálupy	17
6.4	Vybouleniny	17
6.5	Utržení	18
6.6	Eroze	18
7	Experimentální část diplomové práce	20
7.1	Materiály a metody	21
7.1.1	Střeleč	21

7.1.2	Grudzeň Las.....	22
7.2	Popis funkce automatického řízení pískového hospodářství firmy EIRICH.....	23
7.3	Stanovení vlastností stávající jednotné bentonitové směsi.	24
7.4	Stanovení vhodného podílu ostriv ve formovací směsi.	30
7.5	Zavedení ostriva Grudzeň Las do výroby.....	32
7.6	Vlastnosti formovací směsi po zavedení Grudzeň Las do výroby.....	33
7.7	Vliv jednotné bentonitové směsi na povrch odlitku	40
7.7.1	Povrch odlitku před počátkem experimentu.....	41
7.7.2	Povrch odlitku po zavedení Grudzeň Las do výroby	42
7.8	Úspory na materiálu po zavedení ostriva Grudzeň Las do výroby.....	43
7.9	Neshodná výroba	49
8	Kalkulace experimentu.....	52
8.1.1	Cena formovací směsi při průměrných spotřebách za rok 2017	52
8.1.2	Cena formovací směsi za leden 2018	54
8.1.3	Cena formovací směsi za únor 2018.....	55
9	ZÁVĚR.....	57
	Použité zdroje	59
	Přílohy	61

1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce byla optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků z grafitizujících slitin železa po přidání ostřiva Grudzeň Las do stávající formovací směsi, do které se dávkovalo ostřivo Střeleč. Do standartního ostřiva Střeleč, které se používá se střední zrnitostí 0,22 mm, bylo dávkováno ostřivo Grudzeň Las s velikostí středního zrna v průměru 0,16 mm. Tento experiment byl proveden se záměrem zlepšení nebo alespoň zachování povrchových vlastností grafitizujících slitin železa vyrábějících se ve společnosti KASI spol. s.r.o.. Dalším předpokladem bylo zvýšení množství ostřiva na síť 0,125 mm a snížení množství vyplavitelných podílů, případně ekonomická optimalizace jednotné bentonitové směsi. V průběhu experimentu byly každý den sledovány vlastnosti formovací směsi a vývoj v množství neshodné výroby. Bylo důležité, aby nedocházelo ke zvýšení množství neshodné výroby, které by bylo způsobeno nevyhovujícími vlastnostmi formovací směsi. Dávkování ostřiva na oživení jednotné bentonitové směsi bylo po celou dobu zachováno. Toto množství bylo pouze ve vyhovujícím poměru rozděleno mezi ostřiva Střeleč a Grudzeň Las. Sledována byla také ekonomická stránka celého experimentu. Celý průběh experimentu včetně kalkulace je součástí experimentální části této diplomové práce.

2 Úvod

Diplomová práce je zpracovaná do dvou velkých částí. V teoretické části, která je zde zařazena jako první, jsou popsány jednotlivé složky formovací směsi, jako je ostřivo, pojivo, které je v tomto případě bentonit a jelikož se jedná o slévárnu vyrábějící litinové odlitky, jsou zde také popsány druhy přísad, které lze do směsi přidávat pro zlepšení jejích vlastností. Ve slévárně KASI spol. s.r.o. se používá jednotná bentonitová směs, které je věnovaná část teoretické práce. Je zde popsáno, co vlastně jednotná bentonitová směs je a jaké vlastnosti u ní stanovujeme. Poslední kapitolou teoretické části je stručné shrnutí vad, které mohou vznikat vlivem nesprávných vlastností formovací směsi.

Druhou velkou kapitolou této diplomové práce je část praktická, která je věnovaná samotnému experimentu implementace ostřiva Grudzeň Las do výroby. První část je věnovaná popisu vlastností obou používaných ostřiv. Dále je zde stručně popsána historie firmy KASI spol. s.r.o., popis jejich sortimentu a princip fungování automatické linky, stanovování vlastností formovací směsi před zavedením ostřiva Grudzeň Las do výroby, stanovení vhodného podílu obou ostřiv při dávkování, srovnání vlastností formovací směsi před a po provedení experimentu. Následuje kapitola porovnání povrchů odlitku před a po provedení experimentu, které je vhodné stanovit kvůli snížení přísad formovací směsi, kterým je věnovaná další kapitola této práce. Aby bylo podloženo, že vlivem snížení některých složek ve formovací směsi nedošlo ke zhoršení kvality odlitků, najdeme v práci také přehled vývoje neshodné výroby za rok 2017 a první dva měsíce roku 2018, kdy již bylo ostřivo Grudzeň Las zavedeno do výroby. Předposlední kapitola praktické části je věnovaná kalkulaci a zhodnocení finanční stránky celého experimentu. Poslední kapitolou této diplomové práce je závěr, kde je popsáno zhodnocení průběhu a výsledků celého experimentu.

3 Ostřivo

Je majoritní část formovací směsi, jedná se o zrnitý žáruvzdorný materiál, který je neplastický. Ostřivo má různý tvar a velikost (granulometrii), kde za kritickou velikost je považován rozměr 0,02 mm. Od tohoto rozměru se částice řadí do tzv. vyplavitelných podílů (živce, minerály). Množství vyplavitelných podílů by mělo ve formovací směsi být co nejmenší, protože negativně ovlivňuje vlastnosti formovací směsi, mezi které patří například prodyšnost, pevnost, tekutost atd.. Množství vyplavitelných podílů v ostřivu lze stanovit pomocí sedimentační zkoušky. Ostřiva se obecně rozdělují na křemenná, která jsou nejpoužívanější a na nekřemenná. Dle chemického charakteru je pak lze rozdělit na ostřiva kyselá (křemenná), neutrální (šamotový lupek, olivín) a ostřiva zásaditá (magnesit).[1,2]

3.1 Křemenné ostřivo

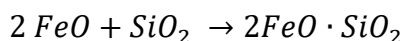
Křemenné písky patří mezi nejpoužívanější ostřivo ve slévárenském průmyslu. Hlavní složkou křemenného ostřiva je SiO_2 – oxid křemičitý. Jelikož se jedná o nejvíce využívaný druh ostřiva, je na něj kladeno několik požadavků, jako např. vysoce čistý a aktivní povrch, který vede ke snížení spotřeby pojiva. Křemenné písky jsou velice rozšířené, proto je mnoho lokalit, kde se těží a jejich vlastnosti se mění právě v závislosti na lokalitě. [1]

Křemenná ostřiva jsou nejpoužívanější a to hlavně z důvodu jejich velké rozšířenosti, mají ale také několik vlastností, které se řadí mezi jejich nevýhody. Tyto vlastnosti jsou popsány níže. [1]

3.1.1 Zvýšená reaktivita v žáru

Křemenné ostřivo – oxid křemičitý je sloučenina kyselého charakteru, proto reaguje s látkami zásaditými za vzniku nízkotavitelných eutektik, které vedou ke snížení žáruvzdornosti křemenného ostřiva. [1,3]

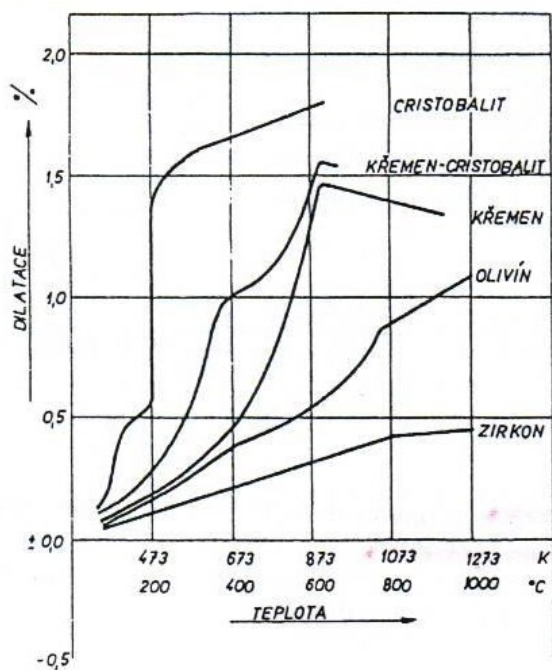
Nejčastěji reaguje oxid křemičitý (forma) s oxidem železnatým (tavenina) za vzniku fayalitu, který snižuje žáruvzdornost formy a vede k penetraci kovu do mezizrnných prostor. Vznik fayalitu probíhá dle reakce:



Žáruvzdornost je po vzniku fayalitu snížena ve velkém množství. Teplota tavení SiO_2 je okolo 1700 °C a u fayalitu je tato teplota pouze 1250 °C. [1,3]

3.1.2 Neplynulá tepelná dilatace

Křemenné ostřívo má nepravidelnou tepelnou dilataci, což je jeho velká nevýhoda oproti ostatním ostřívům. Dilatace křemenného ostříva a několika druhů ostřív nekřemenných je patrná z **obrázku 3.1**. K neplynulé dilataci křemenného ostříva dochází vlivem modifikačních změn, které probíhají v ostřívě během jeho zahřívání. [1,3,4]



Obrázek 3.1 : Tepelná dilatace slévárenských ostřív. [1]

Celý průběh lze rozdělit do třech etap.

Během první etapy se jedná o vratnou dilataci formovací směsi, která probíhá do teplot 700°C a je způsobena vratnou modifikací $\beta \rightarrow \alpha$ SiO_2 . Tato modifikační změna se řadí mezi rychlé změny, probíhající během několika sekund. Změny v krystalické mřížce nejsou velké. Lineární nárůst směsi se pohybuje od 0,86 – 1,3 % podle chemického složení křemenného ostříva. [1,3]

V druhé etapě nad 700°C dochází k mírnému smrštění směsi, ke které dochází vlivem záporného tepelného koeficientu dilatace $\alpha - \text{SiO}_2$ a vznikem křemičitých skel.

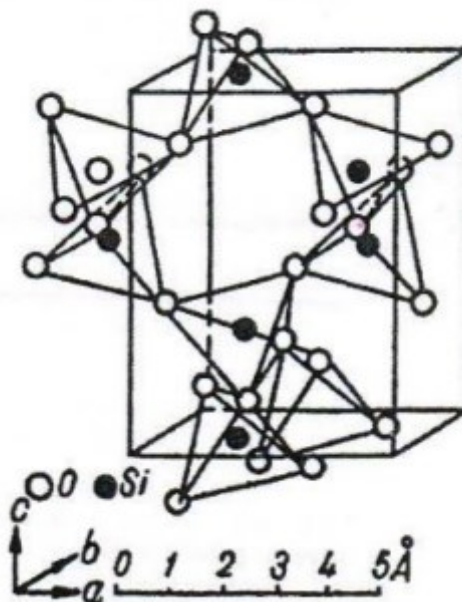
Ve třetí a poslední etapě, která probíhá při teplotách 900 – 1000°C dochází k pomalému a trvalému expanznímu růstu formovací směsi, která při 1400°C dosahuje vysoké lineární dilatace 5 % a objemové dilatace 15 %. [1,3]

Mikrodilatace každého zrnka ostříva se v konečném důsledku projeví makrodilatací celého objemu. V některých případech může dojít k tomu, že se změní tvar formy nebo jádra.

3.1.3 Cristobalitická expanze

Cristobalitická expanze je třetí etapa tepelné dilatace křemenných ostrůvků. Jedná se o trvalou, nevratnou změnu formovací směsi, která probíhá při teplotách nad 900°C. V této fázi, dochází k podstatným změnám krystalické mřížky z hexagonální → krychlovou. Také k výrazným lineárním i objemovým změnám.

Jedná se o velmi pomalý proces, během kterého se křemen mění na cristobalit. Při sebedelším ohříváním čistého křemenného ostrůvka nevznikne cristobalit. Vznik β - cristobalitu je podmíněn přítomností mineralizátorů, což je Na (sodík) z vodního skla nebo K (draslík) z rezolů. Cristobalitická expanze je reakce, která probíhá na volném vnějším i vnitřním povrchu. Struktura β - cristobalitu je patrná z **obrázku 3.2**. [1]



Obrázek 3.2 : Struktura β - cristobalitu. [1]

Z hlediska kinetiky je dokázané, že přítomnost tekuté fáze urychluje vznik cristobalitické expanze. Znamená to tedy, že pokud je mineralizátor tekutý, zvyšuje se jeho působení a vznik cristobalitu je rychlejší, protože se zvyšuje povrch styku mineralizátoru s křemenným ostrůvkem.

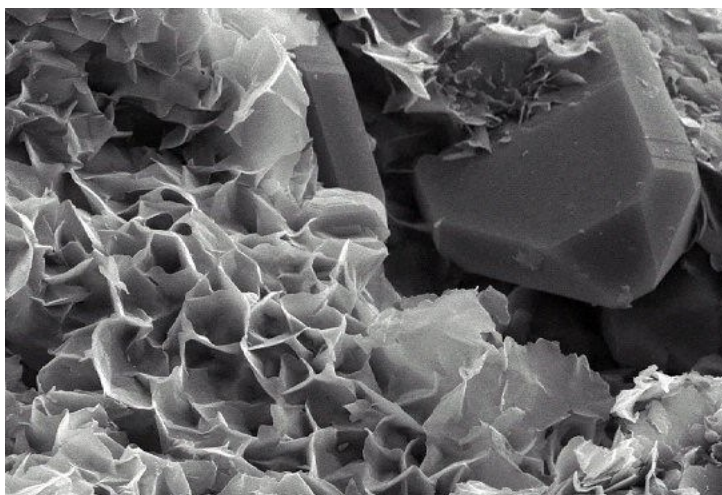
Pro zmírnění dopadu cristobalitické expanze je možno do formovací směsi přidat oxid hliníku Al_2O_3 , který brzdí vznik cristobalitické expanze. Přídavkem tohoto oxidu se také zvyšuje rozpadavost formovací směsi. [1]

4 Jílová pojiva

Jedná se o nejrozšířenější druh slévárenských pojiv. U jílových pojiv se pojení uskutečňuje pomocí působení sil van der Walsových s kapilárními tlaky. Jílová pojiva se používají ve většině sléváren, nejčastěji pro pojení křemenného ostříva, ale mnohdy i pro pojení nekřemenných ostřiv. Výhoda směsí pojených bentonitem je jednoduchá příprava, dobrá hygiena práce, dobré vlastnosti směsi, jako je například vaznost, pevnost. [5]

4.1 Montmorillonit

Jedná se vrstvený silikát, který vzniká zvětráváním čedičových tufů. Vyskytující se v různých zabarveních, jako je například růžová, šedá či hnědá. Tento jíl se vyskytuje jako častá složka u hornin a půd. Ve slévárenství se nejvíce využívají jíly, které obsahují velké množství montmorillonitu, které nazýváme bentonity. Bentonity se mohou být sodné nebo vápenaté. Naleziště sodných bentonitů se nachází v USA a ve středomořských státech. Montmorillonit se skládá ze dvou silikátových tetraedrů a jednoho gibsového oktaedru. Atomy jsou v těchto oktaedrech a tetraedrech vázány relativně silnou kovalentní vazbou. Tyto jednotlivé vrstvy jsou pak následně vázány silami van der Walsovými. U těchto jílů se mohou vyskytovat poruchy krystalové mřížky, kdy jednotlivé vrstvy krystalové mřížky nejsou v ose, ale jsou proti sobě vychýleny, tuto mřížku pak označujeme jako nepravidelnou turbostatickou mřížku. Tato nepravidelnost vede k tomu, že se mezi jednotlivé vrstvy lépe dostává voda popřípadě jiné tekutiny a dochází k interkrystalickému bobtnání. [3,4,5,6,7]



Obrázek 4.1 : Struktura montmorillonitu [6]

4.1.1 Voda v jílových minerálech

Voda má dipólový charakter. Dipólový charakter umožňuje vzájemnou asociaci s jíly. To znamená, že napomáhá proniknout do mřížek jílů a tím způsobit jejich bobtnání.

Voda, která se může vyskytovat v jílových materiálech, je dvojí. [5]

Voda molekulová – je asi 10 % hmoty materiálu. Jedná se o vodu, která je v mezivrstevných prostorech, díky ní dochází k bobtnání bentonitu. Je také adsorbovaná na povrchu svazků a v pórech materiálu. Jedná se o vodu, která se během tepelného namáhání formy při teplotách 250 – 300°C vypaří.

Jedná se o děj dokonale vratný (reverzibilní) a při opětovném přidání vody bentonit bude dále bobtnat.

Chemicky vázaná voda – neboli voda hydroxylovaná je součástí krystalické mřížky. K odstranění chemicky vázané vody je potřeba bentonit vystavit teplotám 550 - 600°C a v tomto případě se pak z bentonitu stane bentonit mrtvý a jeho pojivové schopnosti jsou ztraceny. [5,8,9]

Podle obsahu molekulové vody ve formovací směsi lze tyto směsi rozdělit do 5 skupin.

Bezvodé směsi - jedná se o směsi, jejichž obsah vody je maximálně 0,2 %. V tomto případě je bobtnání u bentonitu vyvolané organickou látkou nikoli vodou.

Polosuché směsi – jedná se o směsi, které obsahují 1,6 – 2,5 % vody. Jsou to směsi, které jsou určené pro automatické linky pracující s vysokými měrnými tlaky.

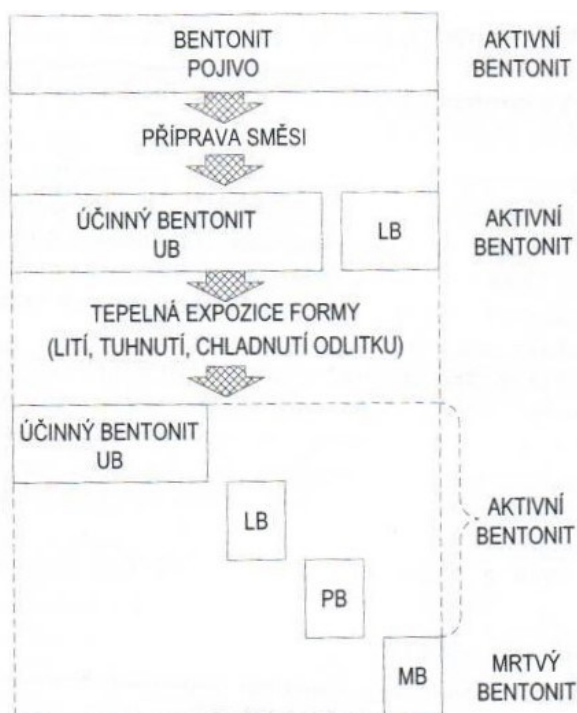
Na syrovo – jedná se o směsi, které obsahují maximálně 5 % vody. Jsou to nejběžněji používané formovací směsi ve slévárenském průmyslu.

Na přisušení – jedná se o směsi, které obsahují 6 – 7 % vody. Jsou to směsi, u kterých se krátkodobě vysouší líc formy.

Na sušení – jedná se o směsi, které obsahují více jak 7 % vody. Jsou to směsi, které se před použitím musejí nechat vysušit nebo vypálit. Nejčastěji se jedná o šamotové směsi. [5]

4.1.2 Druhy bentonitů ve formovací směsi

Bentonitové pojivo ve formovací směsi zajišťuje vaznost. K tomu slouží bentonit, který není tepelně degradovaný a ve formovací směsi se nachází v dobře rozmíchaném stavu. Bentonit se může ve formovací směsi vyskytovat v několika formách, které jsou popsány níže. Na **obrázku 4.2** je graficky znázorněné, v jaké formě se může bentonit vyskytovat ve formovací směsi. [5]



Obrázek 4.2 : Formy bentonitu ve formovací směsi. [5]

Aktivní bentonit – Jedná se o bentonit, který neprošel teplotou dehydroxilace a po jeho opětovném navlhčení jsou vyvolány pojivové vlastnosti. Ke stanovení množství aktivního bentonitu v jednotné formovací směsi je využíván test methylovou modří. [5]

Latentní bentonit – jedná se o aktivní bentonit, který není schopen pojivových vlastností vlivem nedokonalého promísení formovací směsi. Tento bentonit se nachází v mezizrnových prostorech a jednoduše se z něj může stát bentonit aktivní ve chvíli, kdy dojde k dokonalému promísení formovací směsi. [5]

Pasivovaný bentonit – jedná se o bentonit, který je obohacen a produkty pyrolýzních reakcí z formovací nebo jádrové směsi. Z pasivovaného bentonitu se během regenerace ze značné části stává opětovně bentonit aktivní. [5]

Mrtvý bentonit – jedná se o bentonit, který prošel teplotou dehydroxilace. Je to bentonit, který ztratil své pojivové schopnosti. U jednotných bentonitových směsí je nutné hlídat množství mrtvého bentonitu. Tento bentonit snižuje prodyšnosti formovací směsi a zvyšuje sklon k mnoha vadám odlitku. [5]

4.2 Přísady bentonitových směsí

Přísady se do jednotných bentonitových směsí přidávají z několika důvodů, převážně je to zlepšení vlastností dané formovací směsi. Přísady by měly zvyšovat spěchovatelnost, pevnost v kondenzační zóně vody a tím snižovat sklon k tvorbě zálpů, prodyšnost, houževnatost a rozpadavost formovací směsi a v neposlední řadě také zlepšovat povrchovou kvalitu odlitku. Měly by také snižovat drobivost a ostýchavost směsi, exhalace při lití odlitků. Do jednotných bentonitových směsí se mohou jako aditiva používat pouze látky, které se rozvíjejí ve vodním prostředí. [5,8]

4.2.1 Sacharidy

Ve slévárenství se nejčastěji používají jako aditiva monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy, mezi které patří například škroby. Škroby se do formovacích směsí přidávají, protože snižují sklon k tvorbě zálpů, snižují otěr formy a zvyšují houževnatost. Jsou to látky, které se vyznačují nerozpustností za studena, ale za zvýšených teplot jsou schopny přijmout vodu a tím snižují sklon v tvorbě zálpů. Zvýšení rozpustnosti škrobů za nízkých teplot lze dosáhnout mletím škrobů tzv. zkracováním sacharidových řetězců. Mezi škroby se zkrácenými sacharidovými řetězci se řadí dextriny a pyrodextriny, které podporují plasticitu formovací směsi a pevnost po vysušení. V některých případech se jako aditivum používá také melasa, která sice zvyšuje vyjímateľnost formy od modelu, ale snižuje vaznost jednotné formovací směsi. Celulosa se řadí mezi polysacharidy a ve formovací směsi zvyšuje tekutost a pevnost po vysušení. [5]

4.2.2 Dřevitá moučka, lignin

Jedná se o aditiva, která ovlivňují tepelnou dilataci formovacích směsí. Nevytvářejí lesklý uhlík, naopak kyslík, která vzniká, jej spaluje a zvyšuje se obsah CO. Impregnovaná dřevitá moučka se používá pro zlepšení rozpadavosti formovacích směsí metody PUR Cold Box. Někdy se používá lignin jako přísada do nátěrových hmot. Lignin je sulfitový výluh, který je odpadním produktem při výrobě buničiny. [5]

4.2.3 Oxidanty

Metoda přidání oxidačních přísad do formovacích směsí vznikla v USA. Používá se upravená voda, která se přidává do mísičů nebo do suchých a mokřých odlučovačů. Jedná se o vodu, ve které je asi 10 ppm ozonu, peroxid vodíku a je podrobována ultrazvuku. Vzniká voda, která obsahuje stabilní radikály, které jsou schopné aktivovat uhlík a reagovat s bentonitem. U jednotných bentonitových směsí vede použití oxidantů ke zvýšení vaznosti a

tím pádem ke snížení množství bentonitu ve formovací směsi. [5]

4.2.4 Grafit

Grafit je aditivum, které se přidává do jednotné bentonitové směsi z důvodu zlepšení tekutosti, žáruvzdornosti a ke snížení sklonu k tvorbě připečenin. Při přidání grafitu do formovací směsi nastává rychlejší bobtnání bentonitu. Grafit se používá, do obsahu 5 hm%. [5]

4.2.5 Nosiče lesklého uhlíku

Grafitizující slitiny se vyznačují vysokou zabíhavostí, která vede nejenom k dokonalému vyplnění dutiny formy taveninou, ale také ke kopírování povrchu slévárenské formy. V případě, že slévárenská forma není dobře ošetřená, může dojít k tomu, že kov bude penetrovat do mezizrnových prostor formy a podle hloubky penetrace a produktů na povrchu odlitku vznikne buď drsný povrch nebo připečenina. Z tohoto důvodu je celosvětově věnovaná pozornost uhlíkatým přísadám, které by tyto povrchové vady měly eliminovat.

K nejstarším uhlíkatým přísadám ve slévárenství patří kamenouhelná moučka, která se používá již několik staletí. Uhlí je velice složitá organická surovina proměnlivého složení, jejíž účinky na povrch odlitku mohou být různé. Zlepšení jakosti povrchu odlitku lze rozdělit do čtyř teorií. [5]

- **Teorie plynového polštáře** – po tepelné expozici uhlíkatých látek ve formovací směsi se na povrchu formy vytvoří plynový polštář, který brání penetraci kovu do formy. [5,10]
- **Teorie redukční atmosféry** – vlivem přítomnosti uhlíkatých látek ve formovací směsi dojde k tomu, že se atmosféra ve formě změní z oxidační na redukční a dojde k tomu, že se kov nereaguje s formovací směsí. Vznik redukční atmosféry je pro zlepšení kvality povrchu velice žádoucí. Ve chvíli, kdy je ve formě atmosféra oxidační, dochází k reoxidačním pochodům na povrchu taveniny a vzniklé oxidy zvyšují smáčivost formy a kovu a podporují penetraci kovu do formy a tím vznik připečenin. [5,10]
- **Teorie obalování** – výsledným produktem pyrolýzních reakcí formovací směsi je koks, který vyplňuje mezizrnové prostory formovací směsi, v některých případech i zrna ostřiva obaluje. [5,10]
- **Teorie lesklého uhlíku** – vlivem sekundární termodestrukce uhlovodíků vzniká ve slévárenské formě lesklý uhlík, který obaluje zrnka ostřiva. Lesklý

uhlík je s tekutým kovem nesmáčivý, proto se nesmáčivá stávají i tato zrna ostřiva, což vede ke zvýšení hladkosti odlitků. [5,10]

5 Jednotná bentonitová směs

Jedná se o formovací směs, která se používá pro celý objem formy. Tato směs je směs, která je neustále v oběhu a před dalším použitím se jen ožíví, znamená to, že se do ní přidá určité množství nového ostřiva, bentonitu, přísad a vody. Téměř dokonalé oživování formovací směsi patří mezi její největší výhody. Je to dáno hlavně reverzibilitou bentonitu, kdy je jeho převážná část schopna po znovu navlhčení prokazovat pojivové vlastnosti. Díky tomu se do oběhu dá zpětně poslat 90 – 95 % vratné směsi, která byla již použita. Vratné směsi je poté oživují přídavkem 5 – 10 % nových surovin. Jednotné bentonitové směsi jsou velice rozšířené hlavně ve slévárnách, kde se pracuje s odlitky do hmotnosti 250 – 400 kg. Jsou to směsi, které jsou ekonomicky velice výhodné a při použití směsi bez uhlíkatých přísad nedochází ke znečišťování životního prostředí. [4,5,11]

Díky zavedení jednotných bentonitových směsí do provozu se umožnilo:

- Použití natrifikovaných bentonitů ve formovacích směsích
- Schopnost náročného řízení jakosti formovací směsi pomocí technologických zkoušek. [5]

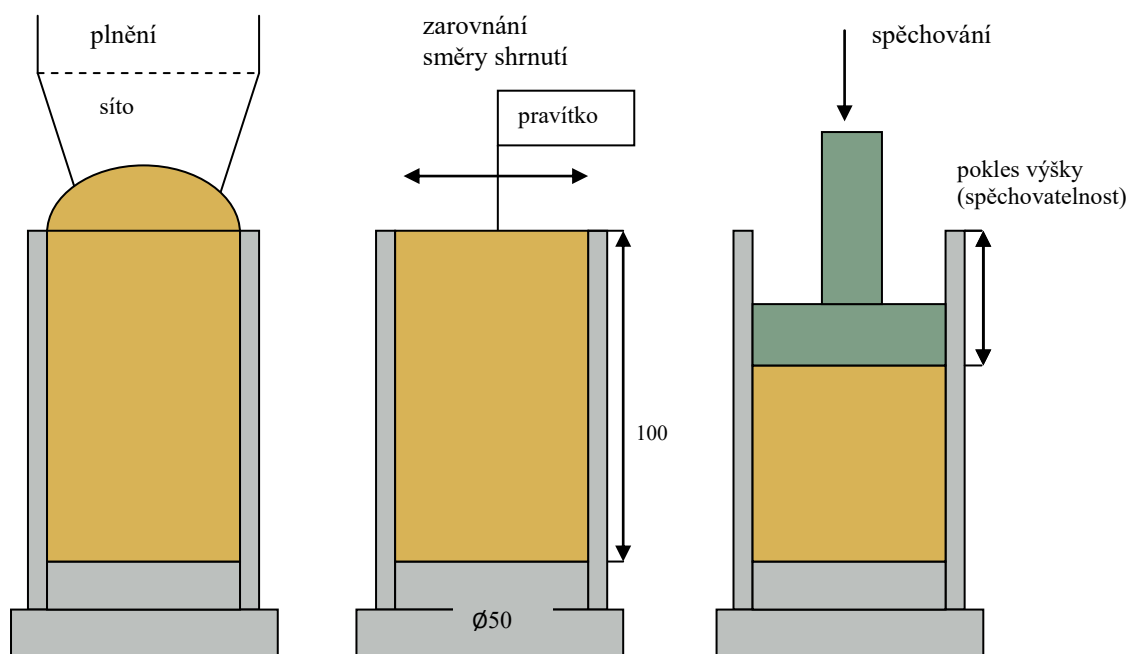
5.1 Zkoušky jednotné bentonitové směsi

Tyto zkoušky se provádějí, aby bylo možné porovnat a zjistit jednotlivé vlastnosti jednotné bentonitové směsi během jejího oběhu. Zkoušek používaných pro řízení jednotné bentonitové směsi je mnoho. V této části budou především popsány zkoušky, které se provádějí v laboratořích, pro zjištění vlastností formovací směsi. [5]

5.1.1 Zkouška spěchovatelnosti

Tato zkouška se provádí, abychom zjistili spěchovatelnost dané formovací směsi. Směs se volně přesype přes síto velikosti ok 3,15 mm do kovového jaderníku průměru 50 mm a délky 100 mm. Formovací směs se do jaderníku sype v přebytku, který je následně stáhnu kovovým pravítkem. Takto naplněný jaderník spěchujeme třemi normoúderem a pravítkem změříme, o kolik se zmenšilo množství formovací směsi v jaderníku. Takto změřená hodnota vypovídá o velikosti spěchovatelnosti formovací směsi. Schématické znázornění zkoušky spěchovatelnosti je patrné z **obrázku 5. 1.**[12,13]

PROSOVÁ, K. *Optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků z grafitizujících slitin železa*. VŠB-TUO, FMFI, 2018



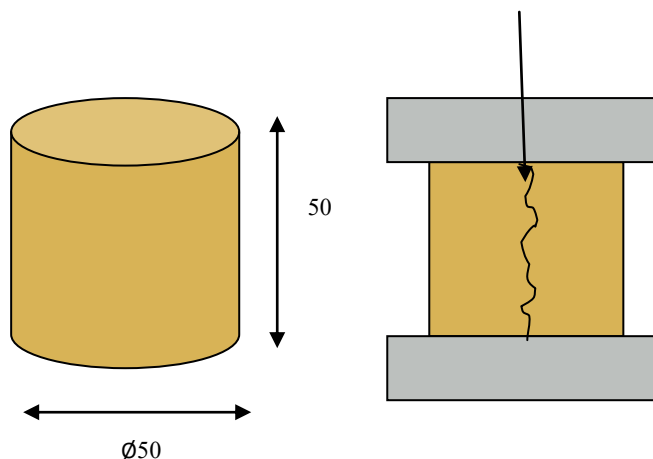
Obrázek 5.1 : Schématické znázornění zkoušky spěchovatelnosti.[12]

5.1.2 Zkouška prodyšnosti

Principem zkoušky je zjištění, jaké množství plynu (m^3) projde formovací směsí za 1 sekundu 1 m^2 za přetlaku 1 kPa při teplotě směsi 15 – 20 C. Zkouška probíhá tak, že se naváží požadované množství formovací směsi a to se následně 3 normoúderý spěchuje, potom se váleček umístí na přetlakový stroj, ze kterého zjistíme hodnotu prodyšnosti formovací směsi. Prodyšnost formovací směsi klesá s množstvím vody a s časem se zvyšuje. [12,13]

5.1.3 Zkouška vaznosti

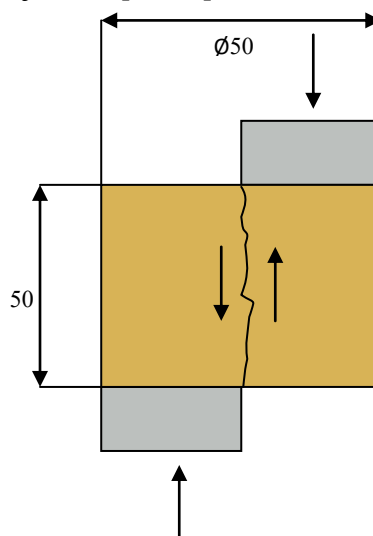
Tato zkouška se provádí pouze u směsí s bentonitovými pojivy. Vaznost stanovíme tak, že si odvážíme požadované množství formovací směsi, ze které vyrobíme normováleček průměru 50 mm a délky 50 mm. Normováleček se zhotoví na pěchovacím zařízení třemi normoúderý. Potom takto zhotovený váleček připevníme na vhodné místo do zkušebního stroje na ploché čelisti. Nastavíme si vhodnou měřicí stupnici a spustíme měření. Po porušení soudržnosti válečku dojde k zapsání aktuálně působícího tlaku a jeho následného přerušení. [12,13]



Obrázek 5.2 : Schématické znázornění zkoušky vaznosti. [12]

5.1.4 Zkouška pevnosti ve střihu

Pevnost ve střihu se zjišťuje při působení tlaku na plochu válečku, který je spěchován standartním způsobem. Tento tlak se měří až do chvíle, než dojde k porušení soudržnosti materiálu. Pro zjištění pevnosti ve střihu je použit stejný přístroj jako u stanovení vaznosti formovací směsi. Na tomto zařízení je nutné přenastavit stupnici měření a použití správných čelistí. Jednotka naměřeného tlaku je kPa. [12,13]



Obrázek 5.3 : Schématické znázornění zkoušky pevnosti ve střihu. [12]

5.1.5 Stanovení vlhkosti

Stanovení probíhá pomocí halogenové váhy stanovení vlhkosti. Do tohoto zařízení se naváží určité množství formovací směsi (15 g) a spustí se automatický program. Během tohoto programu je materiál vysoušen a zjišťuje se jeho vlhkost. Tato metoda má oproti klasické metodě vysoušení v peci výhodu rychlého zjištění požadovaného výsledku.

5.1.6 Síťový rozbor

Síťový rozbor se provádí pro stanovení granulometrie ostřiva, tedy jednotlivé

zastoupení velikostí částic v celém objemu ostřiva popřípadě formovací směsi. Na síťový rozbor se naváží 100 g nového ostřiva popřípadě vysušené formovací směsi. Na síťový rozbor je potřeba řada sít, která jsou řazená sestupně, od síta s největší velikostí ok, až po ty nejmenší. Samotné síťování trvá 10 minut. Používá se pro to vibrační stroj, na kterém je nastavená frekvence a amplituda vibrací, stejně tak je i součástí časovač, která po 10 minutách stroj vypne. Po skončení síťového rozboru se jednotlivá síta pořádně očistí a zváží se množství ostřiva, které na daném síti zůstalo. Takto se to provádí s celou řadou sít. Výsledkem tohoto rozboru je součtová křivka, která nám popisuje, jaké je zastoupení jednotlivých frakcí ve formovací směsi. Je to velice důležitá zkouška, protože granulometrie ostřiva výrazně ovlivňuje celkové vlastnosti formovací směsi. [12,13]



Obrázek 5.4 : Zařízení pro síťování vzorku.

5.1.7 Stanovení vyplavitelných podílů

Tato zkouška umožňuje zjistit, jaký je podíl vyplavitelných látek tzn. látek, které jsou menší, než 0,02 mm v ostřivu. Zkouška je prováděna tak, že se do 600 ml kádinky naváží 50 g zkušební vzorku, který se zalije 10 ml 5 % NaOH a 250 ml destilované vody. Takto vzniklá směs je následně přivedena k varu a vaří se po dobu 4 minut. NaOH se do této směsi přidává jako dispergační činidlo, které vede k vysrážení částic menších, než 0,02 mm. Uvařená směs se nechá dále schladit na pokojovou teplotu. Po zchladnutí se směs nechá 10 minut míchat. Do takto připravené směsi se prudce dolije voda, vzorek se nechá 10 minut ustát, poté následuje stahování speciální násoskou a opětovné prudké dolití vodou a ustátí po dobu 5 minut. Všechny následující sběry jsou prováděny po 5 minutách až do vyčištění vody ve směsi do čira. Pokud je voda nad vzorkem již čirá, tak se zbytek vzorku nechá vysušit v sušičce do konstantní hmotnosti a tím se zjistí množství jemných podílů v ostřivu popřípadě

PROSOVÁ, K. *Optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků z grafitizujících slitin železa*. VŠB-TUO, FMMI, 2018

formovací směsi. Toto je klasická metoda zjišťování množství vyplavitelných podílů v ostřivu. [12,13]

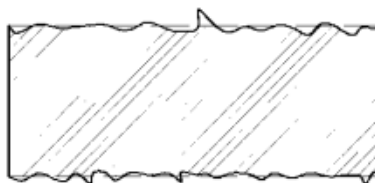
Ve firmě KASI spol. s.r.o. se zjišťuje množství vyplavitelných podílů pomocí nové inovativní metody, kdy je způsob zjišťování množství vyplavitelných podílů značně zjednodušen a urychlen. Příprava vzorku probíhá obdobně. Naváží se 50 g jednotné bentonitové směsi, do které se následně přilije 10 ml 1 % NaOH, přidáme 800 ml destilované vody a necháme vařit. Doba varu se pohybuje okolo 3 – 4 minut. Po uvaření vzniklého roztoku ho necháme 10 minut míchat. Po uplynutí této doby necháme vzniklý roztok 10 minut sedimentovat. Následně roztok stáhneme speciální násoskou. Po stáhnutí roztoku opět přidáme 10 ml 1 % NaOH, dolijeme do 800 ml destilovanou vodou a roztok necháme 10 minut sedimentovat. Po uplynutí této doby opětovně stáhneme násoskou a zbylý roztok vylijeme na síto o velikosti ok 0,02 mm. Zbytek formovací směsi na sítu proléváme proudem vody až do doby, dokud není voda vycházející ze síta čirá. Síto i se zbytkem ostřiva necháme vysušit v sušičce na konstantní hmotnost a následně si vypočteme množství vyplavitelných podílů v jednotné bentonitové směsi. [14]

6 Vady povrchu

Jelikož se během vyhodnocení experimentu diplomové práce sleduje vývoj neshodné výroby, budou v této kapitole stručně popsány vady třídy 200 tedy vady povrchu, které mohou během výroby vzniknout vlivem nevyhovujících vlastností formovacích směsí. Vady povrchu jsou vady, které lze ve většině případů z povrchu odlitku odstranit, ale odstranění bývá většinou nákladné. [15]

6.1 Drsný povrch

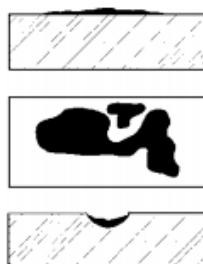
Jedná se drsný povrch, který je způsoben dobrou zabíhavostí tekutého kovu. Jedná se o vadu, kdy kov penetruje do formovací směsi do hloubky, která je menší, než polovina průměru zrna ostříva. Drsný povrch se vyznačuje tím, že na povrchu odlitku nejsou přítomné produkty chemických reakcí mezi formou a kovem. Jedná se o vadu, která je jednoduše odstranitelná tryskáním. Hodnotí se pomocí etalonu nebo speciálního pera, které zaznamenává drsnost povrchu na odlitku. Schématické zobrazení drsného povrchu je znázorněno na **obrázku 6.1**. [15,16]



Obrázek 6.1: Schématické znázornění drsného povrchu [17]

6.2 Připečeniny

Grafitizující slitiny jsou slitiny, které se vyznačují vysokou zabíhavostí, což je na jedné straně vlastnost, která je velice žádoucí, na druhou stranu se jedná o vlastnost, která zvyšuje sklon právě k vadám povrchu, jako jsou připečeniny. [15]

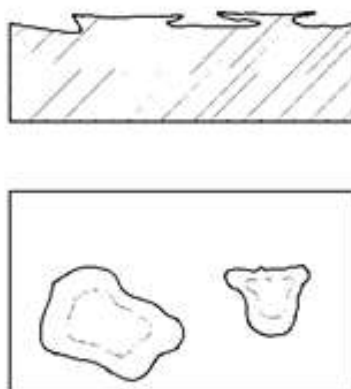


Obrázek 6.2: Schématické znázornění připečeniny [17]

Slitiny s vysokou zabíhavostí dobře kopírují tvar dutiny formy, ale také její povrch. Na tepelně exponovaných místech pak může docházet k tomu, že kov penetruje do formy a vznikají připečeniny. Připečeniny (**obrázek 6. 2.**) jsou vady, které vznikají ve chvíli, kdy kov penetruje do formy v hloubce větší, než je polovina průměru zrn ostřiva. Vyznačují se tím, že obsahují produkty reakcí mezi formou a kovem. Z povrchu odlitku jsou velice těžko odstranitelné, v některém případě to vede k tomu, že odlitek musí být zmetkován. [15]

6.3 Zálupy

Zálupy jsou vady, které vznikají pouze u syrových formovacích směsí. Jedná o typickou vadu, která je způsobená napětím z bržděné tepelné dilatace a nízkou pevností v kondenzační zóně vody. Zálupy jsou mělké otevřené nebo uzavřené prohlubně na povrchu odlitku, které bývají vyplněné formovacím materiálem. Mohou vznikat ve vršku formy vlivem sálavého tepla nebo ve spodní části formy vlivem působení tepla nerovnoměrně působícího na spodek formy. Jedná se o vadu, která se ve slévárnách momentálně prakticky nevyskytuje, protože byla eliminována při zavedení natrifikovaných bentonitů. Schématické znázornění zálupů je viditelné na **obrázku 6.3.** [15,16]

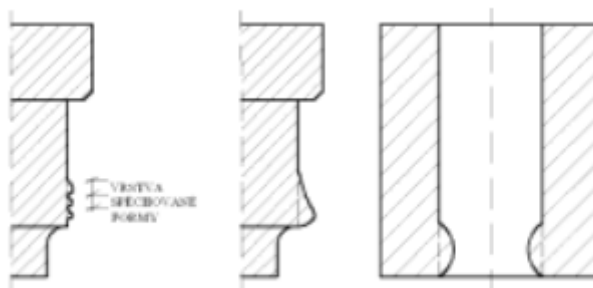


Obrázek 6.3: Schématické znázornění zálupů [17]

6.4 Vybouleniny

Vybouleniny jsou vady, které jsou způsobené namožením formy nebo jádra. V zásadě rozlišujeme dva druhy vyboulenin a to vybouleniny, které vznikají pravidelně po výšce odlitku a odpovídají velikosti jedné spěchované vrstvy formovacího materiálu nebo vybouleniny, které jsou místní, rozsáhlé a mohou se vykytovat v jakékoliv části odlitku a jejich velikost je mnohdy rovna několikanásobku tloušťky upěchované vrstvy. Jedná se o vady, které u jednotných bentonitových směsí vznikají při překročení pevnosti formy v tlaku za

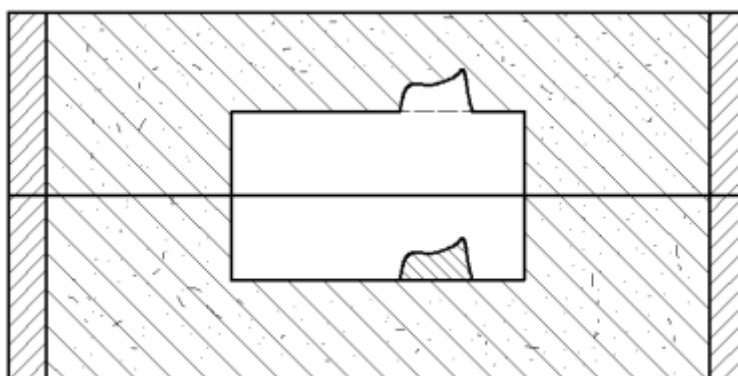
studena nebo za tepla. Schématické znázornění vyboulenin je na **obrázku 6.4**. [15,16]



Obrázek 6.4: Schématické znázornění vyboulenin [17]

6.5 Utržení

Jedná se o vadu, která se projevuje nepravidelným nárostem na povrchu odlitku, který má tvar utržené části formy. Vzniká buď při vyjímání modelu z formy, nebo samovolně během odstátí formy. Tuto vadu vždy doprovázejí zadrobeniny v odlitku. Je způsobena především nízkou pevností formovací směsi v tahu, eventuálně mikro nebo makro narušením formy, které vznikne během skládání a manipulace. Vzniká ve značné části u jednotných bentonitových směsí ve chvíli, kdy se nevěnuje dostatečná pozornost kontrole kvality směsi. Začnou se zvyšovat podíly jemných a prachových částic a mrtvého bentonitu, což vede ke snížení pevností a vzniku utržení formy. Schématické znázornění utržení je patrné z **obrázku 6. 5**. [15,16]

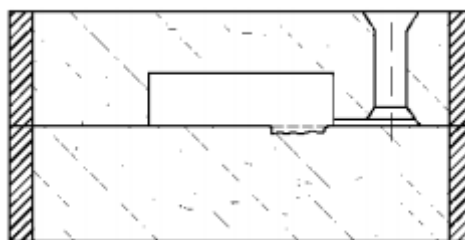


Obrázek 6.5: Schématické znázornění utržení. [17]

6.6 Eroze

Eroze vzniká při rozrušení formovací směsi působením tekutého kovu a to hlavně

v tepelně namáhaných místech, jako jsou například zářezy, jádra nebo namáhaná místa formy. Jedná se o vadu, která je podle jejího rozsahu doprovázena rozplaveným pískem nebo zadrženinami. Příčin vzniku eroze je hned několik. Vznik eroze lze vysvětlit třemi mechanismy, mezi které patří mechanické porušení, fyzikálně – chemické porušení a tepelné porušení. Obecně lze erozi předejít například použitím šamotových tvarovek pro zhotovení vtokové soustavy, usměrněním proudu kovu, použitím ochranných nátěrů. Schématické znázornění eroze je patrné z **obrázku 6. 6.** [15,16]



Obrázek 6.6: Schématické znázornění eroze [17]

7 Experimentální část diplomové práce

Experimentální část diplomové práce je rozdělena celkem do 9 velkých částí. První část je věnovaná použitým metodám měření a popisu vlastností a složení ostřiva, které bylo během experimentu použito. Druhá část se věnuje stanovení vlastností jednotné bentonitové směsi před experimentem, aby bylo patrné, jaké vlastnosti měla stávající formovací směs. V další části je popsáno, jak probíhalo stanovování vhodného poměru obou ostřiv, pro vzniknutí vyhovující formovací směsi pro slévárnu KASI spol. s.r.o. Nový Bydžov. Ve čtvrté části je popsáno, jak probíhalo zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby. V páté části jsou vlastnosti formovací směsi po zavedení ostřiva Grudzeń Las a porovnané s vlastnostmi formovací směsi před provedením experimentu. Vzhledem k vysokým úsporám, přísad formovací směsi jsou v šesté části srovnány povrchy odlitku před a po provedení experimentu. V sedmé části jsou popsány úspory materiálu a přísad formovací směsi při probíhající experimentu. Jelikož docházelo ke snižování přísad formovací směsi, bylo vhodné sledovat četnost neshodné výroby, které se věnuje osmá kapitola experimentální části diplomové práce. Poslední devátá kapitola je věnována celkové kalkulaci experimentu.

Diplomová práce probíhala ve firmě KASI spol. s.r.o. Nový Bydžov. Jedná se o relativně novou slévárnu, která byla otevřena v roce 2011. Kasi je jedním s největších výrobců kanalizační litiny. Vyrábí se zde odlitky ze šedé i tvárné litiny o hmotnosti od 3 do cca 100 kg. Jde o linkovou výrobu, kde je výkonnost linky při plném nasazení 200 forem za hodinu. Linka formuje na principu stlačeného vzduchu a následném dolisování. Formuje se do jednotné bentonitové směsi, která se vyráběna v pískovém hospodářství, nacházejícím se v blízkosti formovací linky.

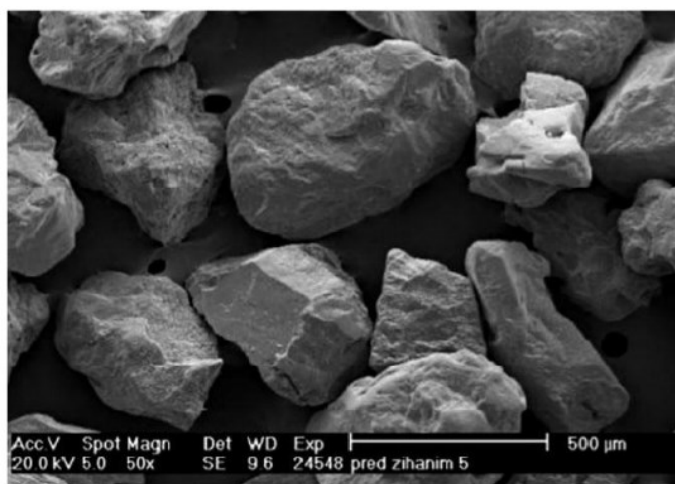
7.1 Materiály a metody

Během experimentu se pracovalo se dvěma druhy ostřiva a to s ostřivem Střeleč, které se používalo pro jednotnou bentonitovou směs před provedením experimentu a ostřivem Grudzeň Las. Grudzeň Las je ostřivo polského původu, které bylo do výroby po sérii měření implementováno v polovině prosince 2017. Z jednotné bentonitové směsi se pravidelně odebírají vzorky, na kterých jsou prováděny zkoušky pro stanovení jejích vlastností. Každý den se provádí zkouška spěchovatelnosti (**kapitola 5.1.1**), prodyšnosti (**kapitola 5.1.2**), vaznosti (**kapitola 5.1.3**), pevnosti ve stříhu (**kapitola 5.1.4**) a vlhkosti (**kapitola 5.1.5**) po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby se každý den po dobu dvou měsíců prováděla zkouška vyplavitelných podílů (**kapitola 5.1.7**), do zavedení nového ostřiva byla tato zkouška prováděna jednou týdně vždy v pátek. Dále se jednou za týden provádí síťový rozbor z jednotné bentonitové směsi (**kapitola 5.1.6**).

7.1.1 Střeleč

Jedná se křemenné ostřivo, jehož naleziště se nachází v Královéhradeckém kraji. Jedná se o kvalitní ostřivo České křídové pánve, které vznikalo díky usazení sedimentů v křídovém moři druhohorního stáří. Má vysoký obsah SiO_2 , nízký obsah Al_2O_3 , Fe_2O_3 a TiO_2 . [2,18]

Tvar a povrch Střelečského ostřiva je patrný na **obrázku 7.1**. Vlastnosti tohoto ostřiva jsou v **tabulce 7.1**.



Obrázek 7.1 : Tvar a povrch křemenného ostřiva Střeleč. [2]

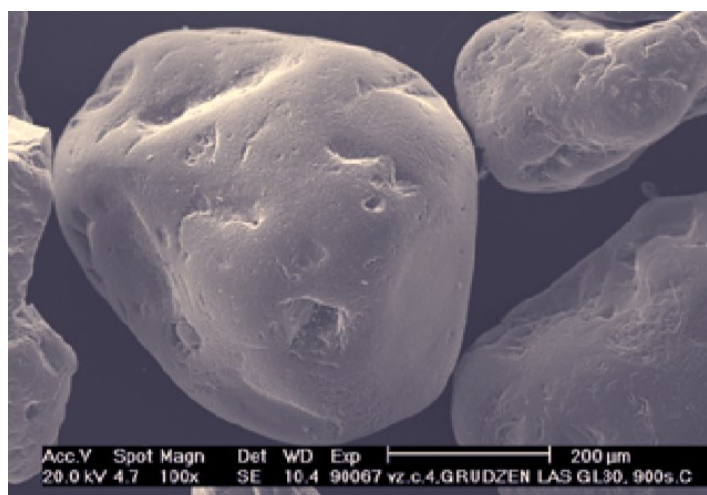
Tabulka 7.1.: Vlastnosti křemenného ostřiva Střeleč [18]

Střeleč	
SiO ₂ [%]	99 – 99,3
Fe ₂ O ₃ [%]	0,04 – 0,09
Hustota	2,65
Tvrдость	7

7.1.2 Grudzeń Las

Jedná se o ostřivo polského původu, které se těží na území Lodžského vojvodství. Jeden z písků, který se těží, slouží ke slévarenským účelům. Je to kulaté ostřivo s minimálním povrchem a vysoce mineralogicky čisté. Obsah SiO₂ je minimálně 99, %. Používá se především u ocelových odlitků, ale lze s ním zajistit kvalitní povrch také u odlitku z litiny s lupínkovým grafitem, litiny s kuličkovým grafitem nebo u neželezných kovů. [19,20]

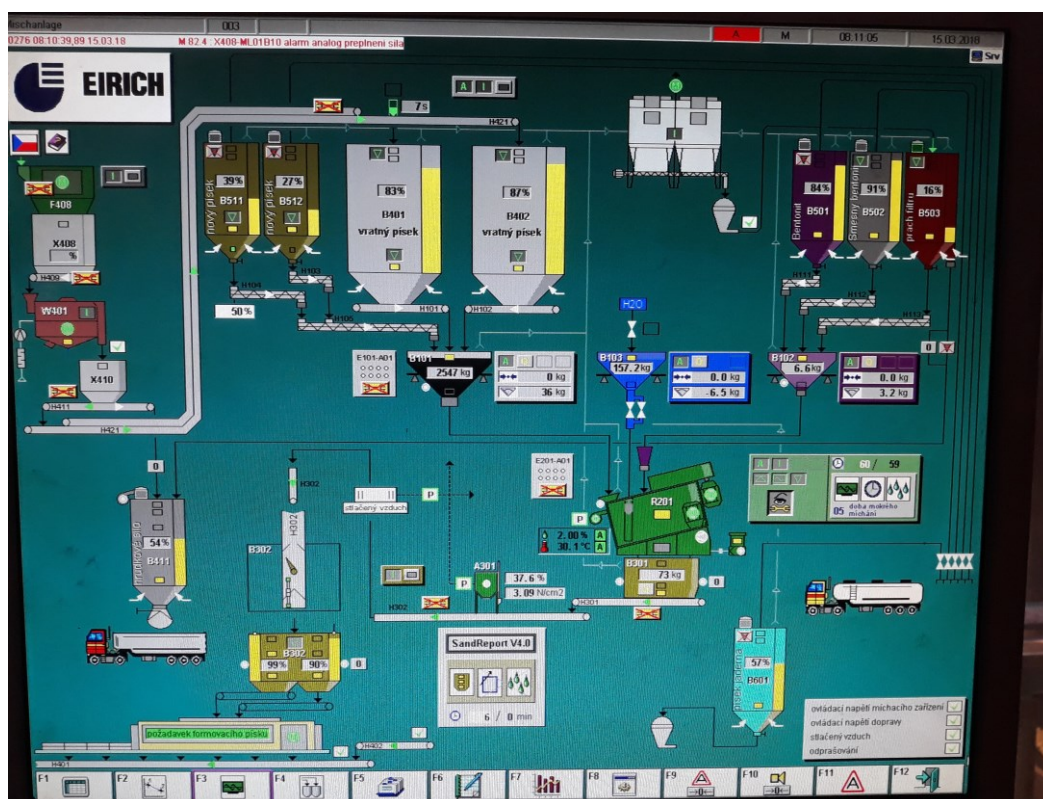
Tvar a povrch polského křemenného ostřiva Grudzeń Las je viditelný na **obrázku 7.2**. Vlastnosti tohoto ostřiva jsou znázorněny v **tabulce 7.2**.

**Obrázek 7.2 :** Tvar a povrch křemenného ostřiva Grudzeń Las. [19]**Tabulka 7.2.:** Vlastnosti křemenného ostřiva Grudzeń Las [19]

Grudzeń Las	
SiO ₂ [%]	min 99,20
Fe ₂ O ₃ [%]	max. 0,10
Al ₂ O ₃ [%]	max. 0,25
TiO ₂ [%]	max. 0,15
Vyplavitelné látky [%]	max. 0,20
Spékavost [°C]	min. 1550
Vlhkost (nesuš. / suš.)[%]	max. 5,5/0,2

7.2 Popis funkce automatického řízení pískového hospodářství firmy EIRICH

Pískové hospodářství dostává od nadřazeného systému informaci o požadované receptuře, která je stanovena dle surové hmotnosti odlitku právě vyráběného na formovací lince. Receptury jsou řazeny podle hmotnosti vyráběných odlitků, kde je přesně stanovené dávkování nového ostríva, bentonitu s odchylkou do 30 %, směsného bentonitu a vody. V KASI se nacházejí dvě velká sila dohromady na 250 tun jednotné bentonitové směsi, dvě sila na nové ostrívo, jedno silo na bentonit a jedno silo na směsný bentonit, jak je znázorněno na **obrázku 7.3**. Menší sila na nové suroviny jsou konstruována na 50 tun.



Obrázek 7.3: Znáznornění formovací linky EIRICH.

Po nastavení receptury, dochází k míchání jednotné bentonitové směsi. Ze sil na jednotnou bentonitovou směs je dávkována tato směs na váhu, do ní se poté přidává požadované množství nového ostríva a bentonitů. Následně putuje ostrívo do mísiče, kde probíhá současné míchání bentonitů a ostríva s formovací směsí. Po skončení tohoto cyklu se změří teplota a hodnota vlhkosti. Na základě těchto hodnot a hodnot spěchovatelnosti předchozí dávky dojde k přidavku požadovaného množství vody. Umíchaná směs jede na pásovém dopravníku dál, kde potom dochází k provozním zkouškám spěchovatelnosti a pevnosti ve střihu dle EIRICHA. Směs postupuje do zásobníků, které se nacházejí nad linkou a dávku požadované množství směsi k zaformování. Po zaformování, odlití a vyklepání

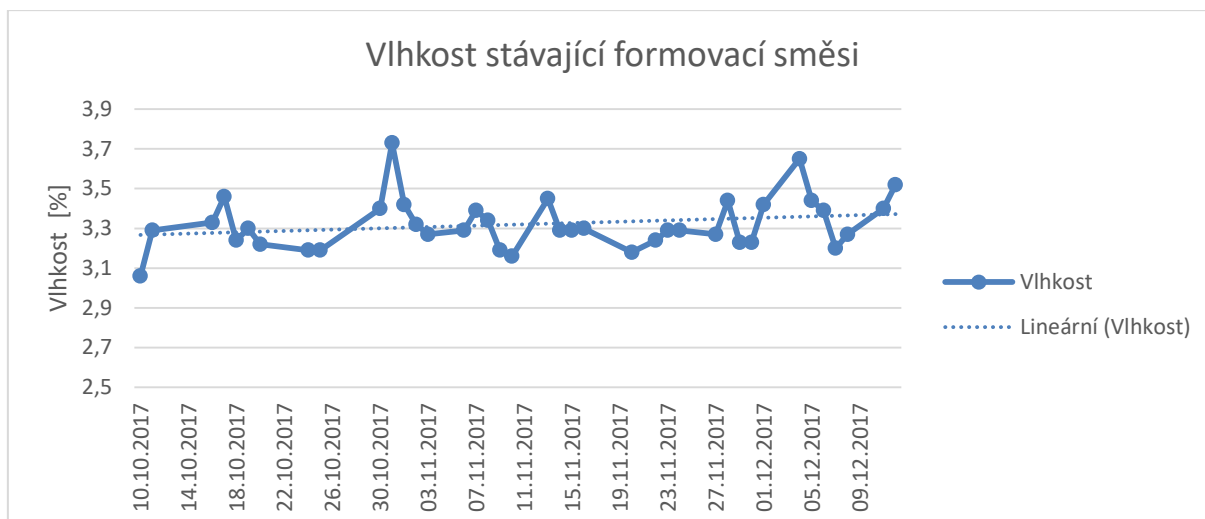
formovací směsi z formy se směs dopraví na odstranění kovových částí, které je prováděno pomocí dvou silných magnetů, následně je přesáta na polygonovém síti a dopravena do chladničky a zpět do dvou velkých zásobníků na jednotnou bentonitovou směs.

7.3 Stanovení vlastností stávající jednotné bentonitové směsi.

Před experimentem se ve slévárně KASI spol. s r.o. používala jednotná bentonitová formovací směs s ostřivem Střeleč. Použití tohoto ostřiva bylo pro slévárnu nákladově výhodné vzhledem k blízkosti pískovny, ale i dosahované vlastnosti formovací směsi jsou pro výrobu kanálové litiny dostačující. Formovací směs se v této době připravovala z nového ostřiva ST 54, směsného bentonitu a bentonitu v podílu 65:35 (směsný bentonit : bentonit). V době rozjezdu slévárny byla snaha do formovací směsi přidat ostřivo Střeleč menší granulometrie. Vzhledem k pneumatické dopravě ostřiva do sil však docházelo během transportu k otírání ostrohranného ostřiva a zvyšování množství jemných podílů od této praxe se upustilo a hledala se nová varianta. Zajímavá se jevila varianta smíchání ostrohranného a kulatého ostřiva. Proto došlo k experimentu, který je popsán v této diplomové práci. V této kapitole budou stanoveny počáteční vlastnosti formovací směsi. I když si řízení pískového hospodářství provádí některé zkoušky samostatně, slouží zkoušky prováděné v laboratoři pro přesnější znalost vlastností formovací směsi. V pískové laboratoři jsou prováděny zkoušky prodyšnosti, vaznosti, pevnosti ve střihu, síťové rozborů a množství vyplavitelných podílů ve formovací směsi. Odběr vzorků a zkoušení se provádí vždy jednou denně ve stejný čas.

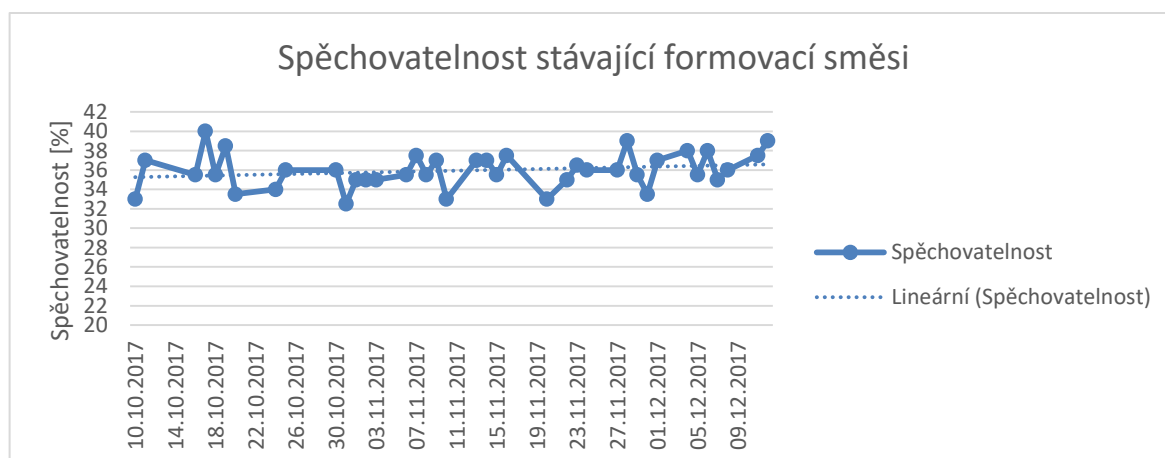
Naměřené hodnoty z laboratoře jsou zpracované v přehledné **tabulce 1**, která je součástí příloh této diplomové práce a v grafech znázorněny níže. Všechny vlastnosti byly sledované po dobu dvou měsíců, kde na konci tabulky je vždy vyznačená průměrná hodnota.

V **grafu 7.1** je znázorněno, jak se pohybovala vlhkost formovací směsi před provedením experimentu. Průměrná hodnota vlhkosti během dvou měsíců před provedením experimentu byla **3,32 %**. Z grafu jsou patrné nepatrné výkyvy. Při stanovení vlhkosti se vychází z průměrné hodnoty tří naměřených vzorků. Hodnotu vlhkosti z formovací linky nelze srovnávat s hodnotou naměřenou v laboratoři. Pískové hospodářství zaznamenává spotřebu vody v litrech. V laboratoři se vlhkost stanovuje postupem, který je popsán v **kapitole 5.1.5**. Tato hodnota je poté zavedena do tabulky, z níž vychází tyto výsledky. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1**, která je přílohou této diplomové práce.



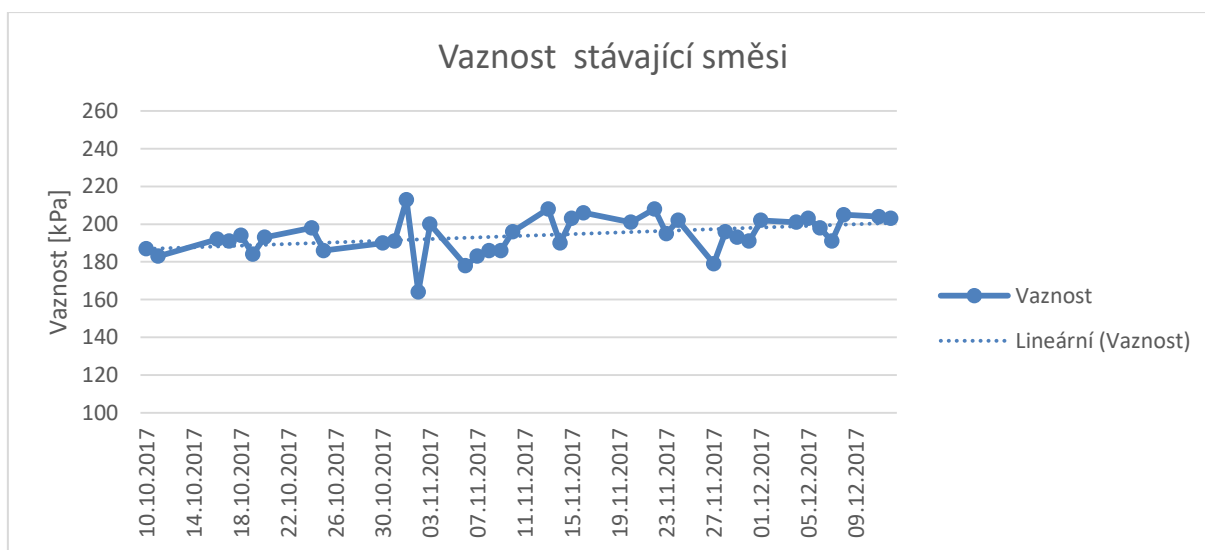
Graf 7.1.: Vlhkost stávající formovací směsi.

V **grafu 7.2** je znázorněno, jaké byly hodnoty spěchovatelnosti formovací směsi před provedením experimentu. Průměrná hodnota spěchovatelnosti během dvou měsíců před provedením experimentu byla **35,96 %**. I z grafu je patrné, že na hodnotách spěchovatelnosti jsou také pozorovatelné výkyvy. Hodnota spěchovatelnosti je jediná, kterou lze objektivně porovnávat s hodnotami naměřenými formovací linkou. Odchylka v naměřených hodnotách v laboratoři a lince je do 5 %. Stanovení spěchovatelnosti na automatickém pískovém hospodářství probíhá vyvíjením konstantního tlaku na formovací směs v jaderníku, do kterého se odebírá vzorek. Stanovení spěchovatelnosti v laboratoři probíhá standartním způsobem, který je popsán výše v **kapitole 5.1.1**. Při stanovení spěchovatelnosti se vychází z průměrné hodnoty tří naměřených vzorků. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce, z níž vychází tyto výsledky. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1**, která je přílohou této diplomové práce.



Graf 7.2.: Spěchovatelnost stávající formovací směsi.

V **grafu 7.3** je znázorněno, jaké byly hodnoty vaznosti formovací směsi před provedením experimentu. Průměrná hodnota vaznosti během dvou měsíců před provedením experimentu byla **194,21 kPa**. I z grafu je patrné, že tato hodnota se pohybovala až na malé výkyvy v listopadu konstantně a její tendence byla nepatrně stoupající. Automatizované pískové hospodářství tuto vlastnost neměří. Stanovuje se pouze v pískové laboratoři. Zkouška vaznosti se provádí dle postupu popsaného v **kapitole 5.1.3**. Pro stanovení hodnoty vaznosti formovací směsi je zkouška provedena třikrát, ze které se vypočte hodnota průměrná. Tato hodnota je poté zavedena do tabulky, z níž vychází tyto výsledky. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1**, která je přílohou této diplomové práce.



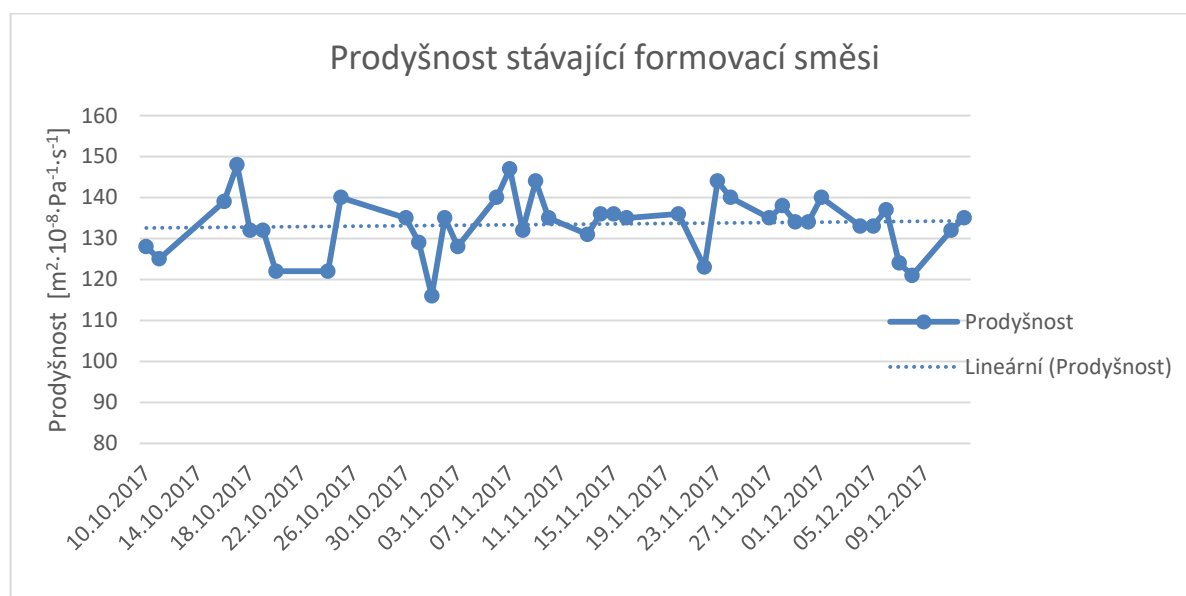
Graf 7.3.: Vaznost stávající formovací směsi.

V **grafu 7.4** je znázorněno, jaké byly hodnoty pevnosti ve střihu formovací směsi před provedením experimentu. Průměrná hodnota pevnosti ve střihu během dvou měsíců před provedením experimentu byla **35,49 kPa**. Z grafu je patrné, že se tato hodnota občas vychovala od lineárního průběhu. Na automatickém pískovém hospodářství se hodnota pevnosti ve střihu neměří. Automatické pískové hospodářství provádí atypickou zkoušku, která by se dala nejlépe přirovnat zkoušce pevnosti ve štěpu. Zkouška pevnosti ve střihu se provádí podle standartních postupů, které jsou popsány v **kapitole 5.1.4**. Pro stanovení hodnoty pevnosti ve střihu formovací směsi je zkouška provedena třikrát, ze které se vypočte hodnota průměrná. Tato hodnota je poté zavedena do tabulky, z níž vychází tyto výsledky. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1**, která je přílohou této diplomové práce.



Graf 7.4.: Pevnost ve stříhu stávající formovací směsi.

V **grafu 7.5** je znázorněno, jaké byly hodnoty prodyšnosti formovací směsi před provedením experimentu. Průměrná hodnota prodyšnosti během dvou měsíců před provedením experimentu byla $133,49 \text{ m}^2 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Z grafu je patrné, že hodnota prodyšnosti je jediná, která se během posledních dvou měsíců před experimentem nejvíce vychylovala od lineárního průběhu. Na automatickém pískovém hospodářství se hodnota prodyšnosti neměří. Tato hodnota je měřena pouze v laboratoři. Stanovení prodyšnosti probíhá podle postupu, který je popsán v **kapitole 5.1.2**. Pro stanovení hodnoty prodyšnosti formovací směsi je zkouška provedena třikrát, ze které se vypočte hodnota průměrná. Tato hodnota je poté zavedena do tabulky, z níž vychází tyto výsledky. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1**, která je přílohou této diplomové práce.



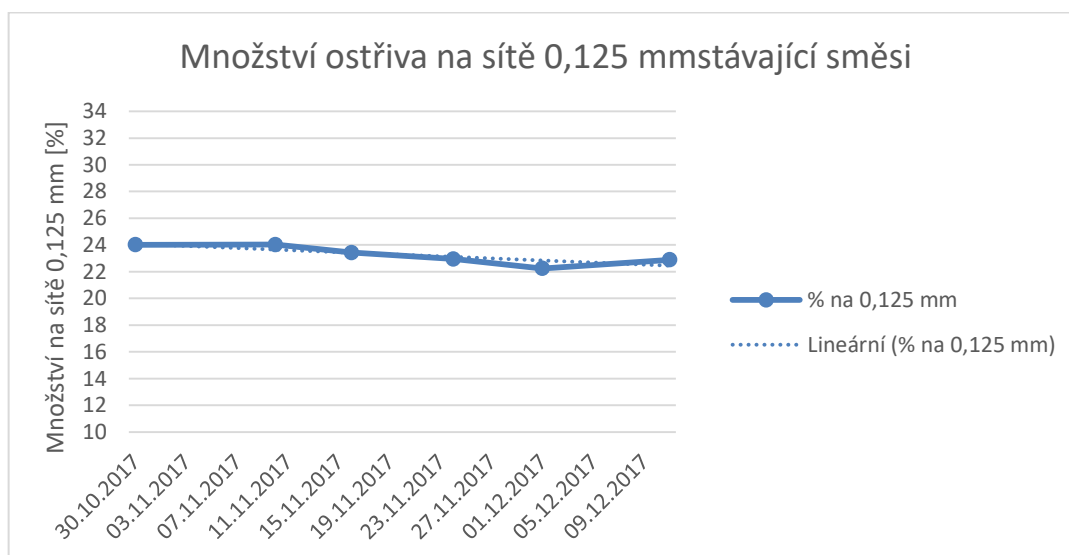
Graf 7.5.: Prodyšnost stávající formovací směsi

Před začátkem experimentu se v KASI prováděla zkouška vyplavitelných podílů pouze 1x týdně. Proto je množství výsledků několikanásobně menší, než po zavedení nového ostřiva do výroby. V **tabulce 7.3.**, se nachází přehled nejdůležitějších parametrů, které byly sledovány při stanovování vhodného poměru obou ostřiv. Hodnoty z tabulky jsou vyneseny do grafů, které jsou popsány níže.

Tabulka 7.3.: Tabulka výsledků síťových rozborů po stanovení vyplavitelných podílů (VP) před zavedením ostřiva Grudzeň Las do výroby.

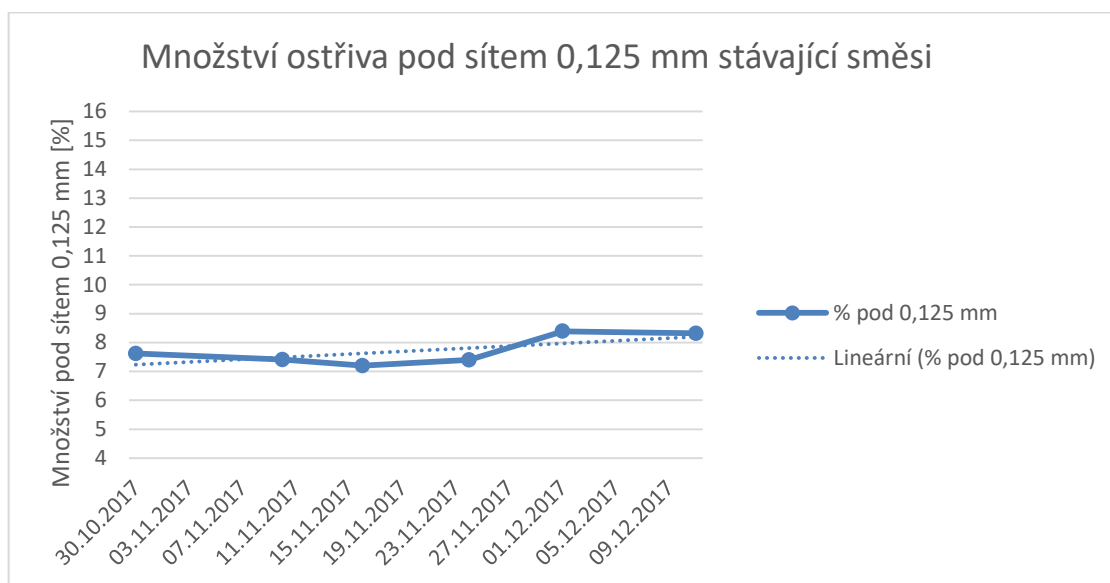
Vzorek	% na síť 0,125 mm	% pod sítí 0,125 mm	% VP
30.10.2017	24,02	7,62	14,52
10.11.2017	24,03	7,41	15,84
16.11.2017	23,43	7,20	15,98
24.11.2017	22,95	7,40	11,92
01.12.2017	22,24	8,39	13,24
11.12.2017	22,89	8,32	13,08
Průměr:	23,26	7,72	14,10

V **grafu 7.8.** je znázorněno, jaké bylo množství ostřiva na síť 0,125 mm po stanovení množství vyplavitelných látek v KASI spol. s r.o. před zavedením nového ostřiva do výroby. Toto množství bylo průměrně rovno **23,26 %**. Jak je z grafu patrné, množství ostřiva na síť 0,125 mm postupně klesalo. Zkouška vyplavitelných podílů se v laboratoři provádí speciálním způsobem, který je popsán v **kapitole 5.1.7.**



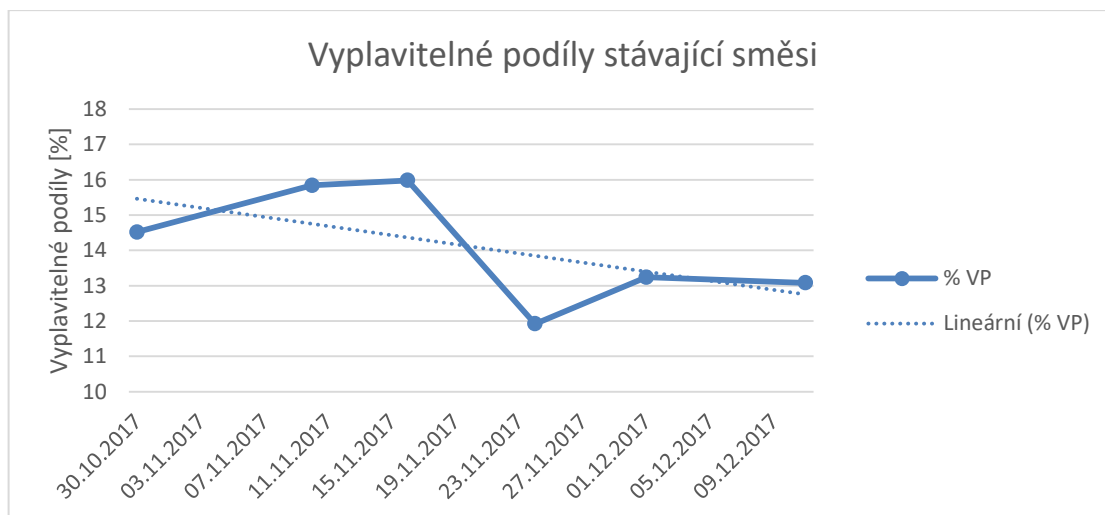
Graf 7.8.: Množství ostřiva na síť 0,125 mm po stanovení množství vyplavitelných podílů stávající formovací směsi.

V **grafu 7.9.** je znázorněno, jaké bylo množství ostříva pod sítem 0,125 mm po stanovení množství vyplavitelných podílů. Jak již bylo zmíněno, předpokládá se, že se tato hodnota po zavedení ostříva Grudzeň Las do výroby stoupne. Tato hodnota je zde zmíněna z důvodu, že jemné podíly snižují prodyšnost formovací směsi, což vede ke zvýšení sklonu k mnohým vadám odlitku. Před experimentem byla průměrná hodnota rovna **7,72 %**.



Graf 7.9.: Množství ostříva pod sítem 0,125 mm po stanovení množství vyplavitelných podílů stávající směsi.

V **grafu 7.10.** této kapitoly bude znázorněné množství vyplavitelných podílů ve formovací směsi před zavedením ostříva Grudzeň Las do výroby. Před zavedením bylo průměrné množství vyplavitelných podílů ve formovací směsi roven **14,10 %**. Tato hodnota je zcela typická pro jednotné bentonitové směsi. Tyto hodnoty jsou zde zmíněny, aby bylo možné porovnat, jak se změnily všechny měřené vlastnosti formovací směsi.



Graf 7.10.: Množství vyplavitelných podílů stávající formovací směsi.

7.4 Stanovení vhodného podílu ostrův ve formovací směsi.

Pro stanovení vhodného podílu jednotlivých složek ostrůva byla provedena série měření, kde se zkoumaly poměry ostrův. Nejprve byly zjištěny vlastnosti čistých ostrův. Byly provedeny zkoušky vyplavitelných podílů a následně síťové rozbor, kde byla zjištěna granulometrie ostrůva, rozložení frakcí na jednotlivých sítích a střední zrno ostrůva. Vhodný poměr se stanovoval právě pomocí výsledků z těchto zkoušek. V zájmu slévárny KASI spol. s r.o. bylo, aby vzrostl podíl ostrůva na síť 0,125 mm, byl snížen podíl vyplavitelných podílů ve směsi, množství ostrůva pod sítí 0,125 mm nebylo moc vysoké. Po sérii měření, kdy se podíl ostrůva Grudzeň Las zvyšoval vždy o 10%, bylo vyhodnoceno, že nejvhodnější by bylo, aby směs obsahovala 80% Střelče a 20% Grudzeň Las. Jak je patrné z **tabulky 7.4.** byla nejvhodnějším složením směs s 80 % Střelečského ostrůva a 20 % ostrůva Grudzeň Las. Po přidání 20 % nového ostrůva, došlo při zkoušení k růstu množství frakce na síť 0,125 mm o více, než 5 %, podíl ostrůva pod sítí 0,125 mm nebyl mnohonásobně vyšší. V tomto případě se nelze odvíjet od množství vyplavitelných podílů, protože byly prováděny na čistém ostrůvu. Tato směs byla shledána vyhovující jak z ekonomického, tak z technologického hlediska.

Tabulka 7.4.: Tabulka výsledků měření probíhajících ke stanovení vhodného poměru ostřiv.

Vzorek	% na síť 0,125 mm	% pod sítí 0,125 mm	% VP	Ø na 0,125 mm	Ø pod 0,125 mm	Ø VP*
100 % GL	48,88	20,96	0,64	49,35	19,95	0,30
100 % GL	49,16	19,90	0,10			
100 % GL	50,02	18,98	0,16			
100% ST	29,92	4,65	0,22	30,99	5,31	0,18
100% ST	32,44	6,32	0,28			
100%ST	30,60	4,96	0,04			
90% ST 10% GL	36,78	11,78	0,76	33,37	9,85	0,49
90% ST 10% GL	34,70	9,88	0,34			
90% ST 10% GL	28,62	7,90	0,38			
80% ST 20% GL	31,58	11,20	0,06	35,51	11,13	0,13
80% ST 20% GL	36,68	12,06	0,22			
80% ST 20% GL	38,28	10,12	0,10			
70% ST 30% GL	37,12	14,72	0,48	36,40	11,38	0,25
70% ST 30% GL	36,94	9,62	0,12			
70% ST 30% GL	35,14	9,80	0,14			
60% ST 40% GL	36,92	13,50	0,18	37,11	13,99	0,11
60% ST 40% GL	37,78	15,04	0,12			
60% ST 40% GL	36,62	13,42	0,02			
50% ST 50% GL	43,96	15,78	0,46	41,61	15,57	0,21
50% ST 50% GL	39,40	15,52	0,06			
50% ST 50% GL	41,48	15,40	0,12			
40% ST 60% GL	39,82	16,42	0,06	43,21	15,99	0,09
40% ST 60% GL	45,60	16,96	0,10			
40% ST 60% GL	44,20	14,60	0,10			
30% ST 70% GL	43,30	14,56	2,72	42,79	14,55	0,98
30% ST 70% GL	45,38	15,10	0,12			
30% ST 70% GL	39,68	13,98	0,10			
20% ST 80% GL	41,60	15,18	0,10	44,85	14,85	0,13
20% ST 80% GL	46,56	12,70	0,12			
20% ST 80% GL	46,40	16,66	0,16			
10% ST 90% GL	47,96	21,54	0,14	48,49	18,29	0,14
10% ST 90% GL	51,20	14,94	0,08			
10% ST 90% GL	46,32	18,38	0,20			

* - VP – vyplavitelné podíly

7.5 Zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby

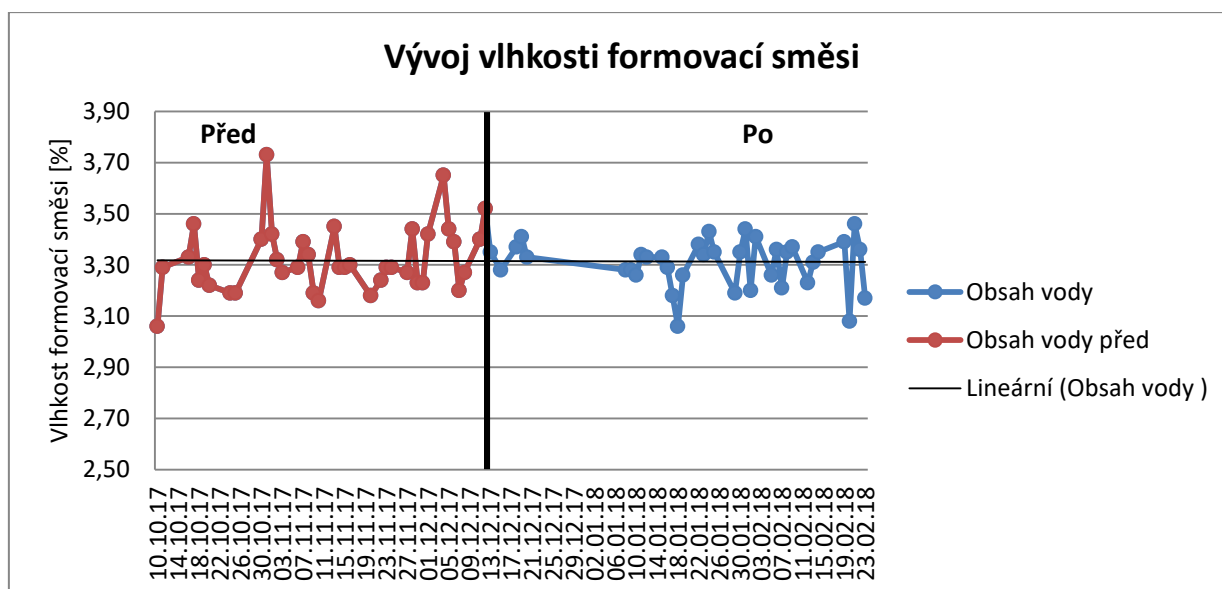
Po provedení zkoušek ve školních laboratořích bylo pro slévárnu KASI spol. s.r.o. doporučeno, aby podíly formovací směsi byly 80:20 (Střeleč : Grudzeň Las). Do KASI spol. s.r.o. byly odeslány veškeré výsledky a bylo rozhodnuto, že je stávající provoz výhodnější zavedení ostřiva v poměru 70 : 30 (Střeleč : Grudzeň Las).

Experiment započal 13. prosince 2017, kdy se poprvé do jednotné formovací směsi tvořené pouze ostřivem Střeleč začalo dávkovat ostřivo Grudzeň Las cca 90 t. Od počátku experimentu do konce roku 2017 se dávkovalo pouze ostřivo Grudzeň Las, aby došlo alespoň k částečnému nasycení formovací směsi tímto ostřivem. Tento krok byl důkladně zváženo, bylo provedeno několik výpočtů, jak dlouho by trvalo, nasycení směsi při dodržení dávkování 70:30. Z propočtů bylo patrné, že doba nasycení by byla okolo měsíce a půl. Proto se do konce roku dávkovalo pouze ostřivo Grudzeň Las. Na začátku roku 2018 bylo dávkování nastaveno na poměr 70:30, který se v KASI spol. s.r.o. používá do nynějška. Požadavkem od tohoto experimentu bylo, aby vlivem zavedení Grudzeň Las do směsi snížilo množství uhlíkatých přísad a bentonitu do formovací směsi. K tomuto snížení by mělo dojít vlivem vyplnění mezizrnných prostor Střelečského ostřiva ostřivem Grudzeň Las. Z logického hlediska by mělo dojít také ke snížení spotřeby vody. To bohužel nelze objektivně v této práci popsat, jelikož množství vody, které dávkuje pískové hospodářství je závislé především na vlhkosti vstupní formovací směsi z chladničky. Požadovaná vlhkost směsi z chladničky je okolo 2,1 - 2,5 %. Jak je popsáno níže v této diplomové práci, vlivem zavedení ostřiva Grudzeň Las opravdu mohlo dojít ke snížení uhlíkaté přísady a bentonitu do formovací směsi. V KASI spol. s.r.o. se používá bentonit směsný a čistý, který se do začátku experimentu dávkoval v poměru 65 : 35 (směsný bentonit : bentonit). V lednu došlo k nepatrnému snížení tohoto poměru na 60 : 40 (směsný bentonit : bentonit). Od února roku 2018 se dávkování změnilo na poměr 50 : 50 (směsný bentonit : bentonit). Důvod snižování množství bentonitů bylo udržení standardní hodnoty pevnosti ve stříhu dle EIRICHA, která po zavedení ostřiva Grudzeň Las začala stoupat. Toto dávkování se používá i nyní. Úspory materiálu, kalkulace celého experimentu, vlastnosti formovací směsi a případné změny v neshodné výrobě jsou popsány níže v této diplomové práci.

7.6 Vlastnosti formovací směsi po zavedení Grudzeň Las do výroby

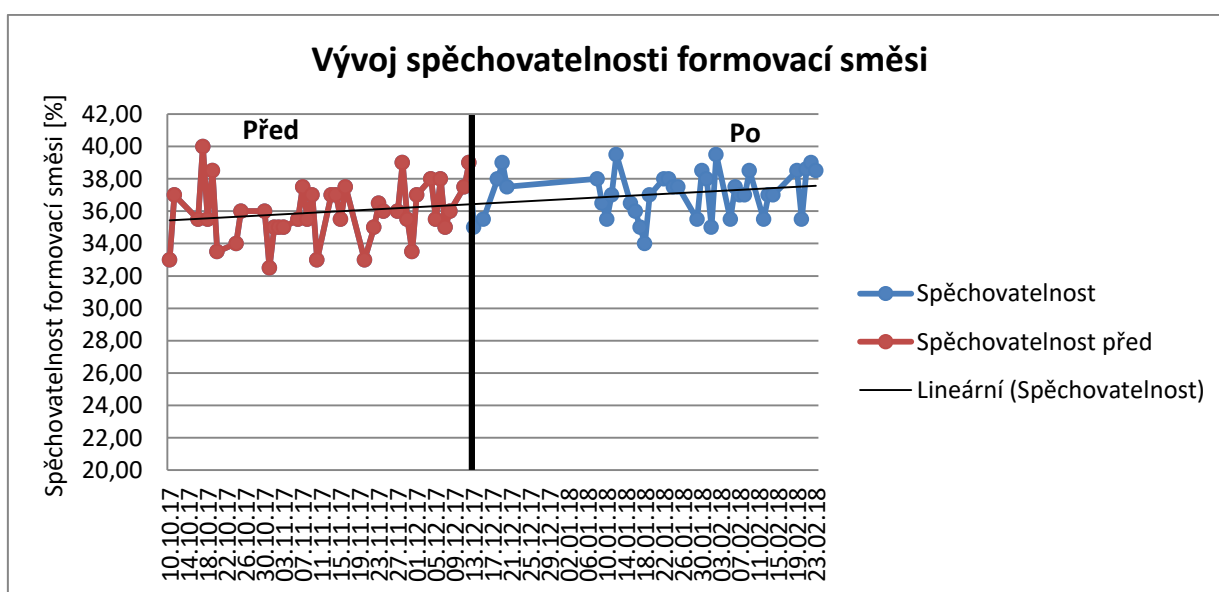
Od prvního dne počátku experimentu se provádělo mnoho měření, aby bylo patrné, jak se den ode dne měnily vlastnosti formovací směsi. Z každého dne po dobu dvou měsíců byly odebírány také vzorky pro stanovení množství vyplavitelných podílů. Všechny výsledky jsou zpracované do přehledných tabulek, vynesené v grafech, popsané a porovnané s počáteční hodnotou před zavedením Grudzeň Las do výroby.

V první polovině **grafu 7.11** je znázorněno, jak se pohybovala vlhkost formovací směsi před provedením experimentu. Průměrná hodnota vlhkosti během dvou měsíců před provedením experimentu byla **3,32 %**. Mezní čára v grafu popisuje, kdy proběhla implementace polského ostřiva do výroby. Z druhé poloviny grafu je znatelné, že se hodnota vlhkosti formovací směsi prakticky nezměnila. Její průměrná hodnota byla **3,31 %**. Pozitivním poznatkem ale je, že po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby měla tato hodnota konstantnější průběh. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1 a 2**, které jsou součástí příloh této diplomové práce.



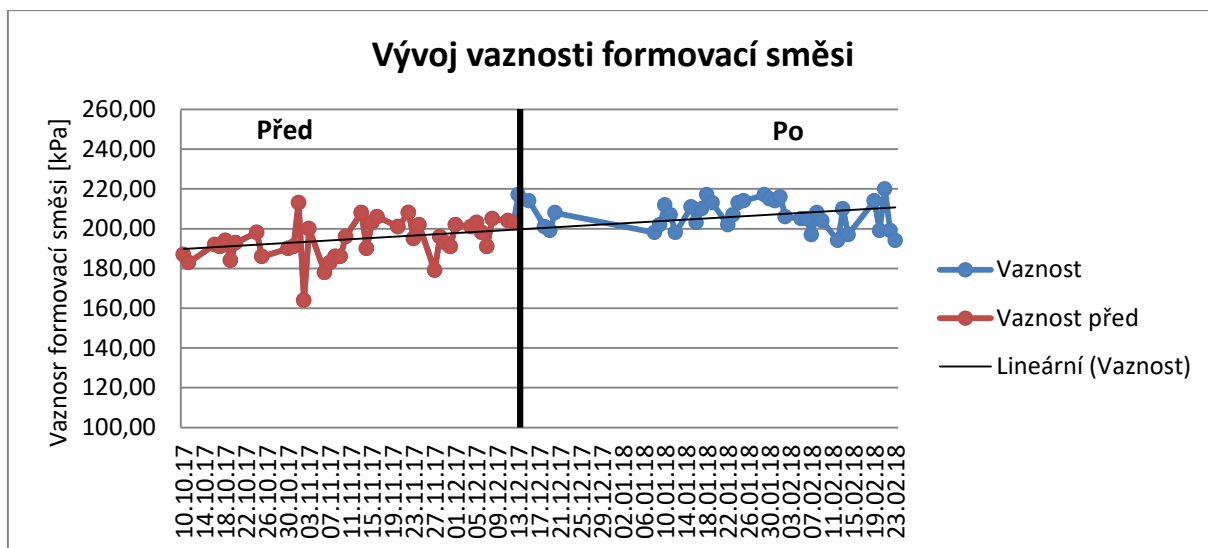
Graf 7.11.: Vývoj vlhkosti formovací směsi před a po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby.

V první polovině **grafu 7.12** je znázorněno, jaké byly hodnoty spěchovatelnosti formovací směsi před provedení experimentu. V té době byla průměrná hodnota spěchovatelnosti formovací směsi **35,96 %**. Po provedení experimentu se průměrná hodnota spěchovatelnosti během dvou měsíců zvýšila na **37,10 %**, což je o **1,14 % více**. Jak je z průběhu grafu patrné, hodnota spěchovatelnosti měla stoupající tendenci. Nárůst spěchovatelnosti lze vysvětlit zjemněním granulometrie formovací směsi. Opětovně lze i na tomto grafu pozorovat, že průběh funkce je stabilnější, než v první polovině grafu tedy před zavedením ostříva Grudzeň Las do výroby. Hodnoty v grafu jsou zpracované **tabulky 1 a 2**, které jsou součástí příloh této diplomové práce.



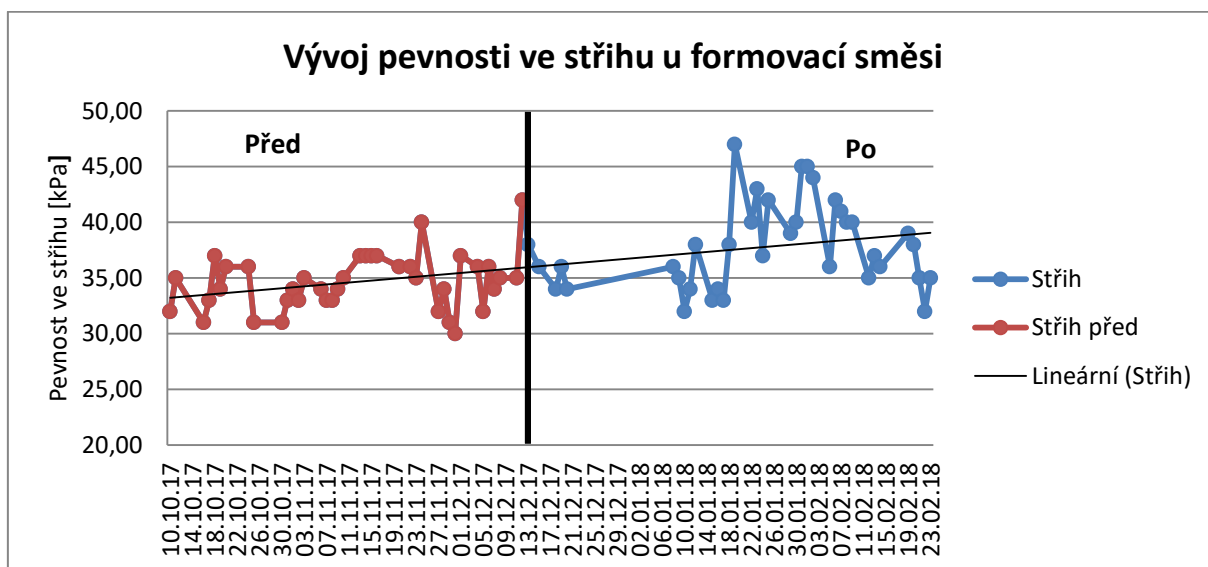
Graf 7.12.: Vývoj spěchovatelnosti formovací směsi před a po zavedení ostříva Grudzeň Las do výroby.

V první polovině **grafu 7.13** je znázorněno, jaké byly hodnoty vaznosti formovací směsi před provedením experimentu. V této době byla průměrná hodnota vaznosti **194,21 kPa**. Z druhé poloviny je patrné, jak se hodnoty vaznosti měnily během prvních dvou měsíců implementace ostříva Grudzeň Las do výroby. V této době průměrná hodnota dosahovala **207,3 kPa**. Průměrný nárůst od počátku experimentu tedy činí **12,82 kPa**. Z průběhu grafu lze také vyčíst, že charakter hodnot je stoupající a jejich průběh je konstantnější. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1 a 2**, které jsou součástí příloh této diplomové práce.



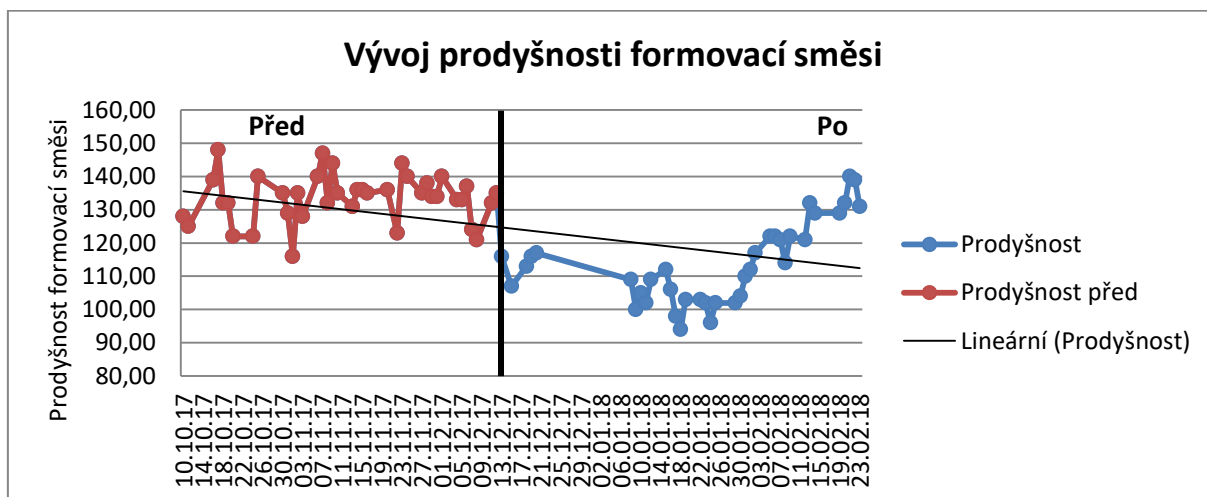
Graf 7.13.: Vývoj vaznosti formovací směsi před a po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby.

V první polovině **grafu 7.14** je znázorněno, jaké byly hodnoty pevnosti ve střihu formovací směsi před provedením experimentu. V této době byla průměrná hodnota **34,59 kPa**. Po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby tato hodnota stoupa na **37,81 kPa**, což je o **3,22 kPa více**. Z průběhu grafu je patrné, že tato hodnota byla velice nestabilní jak před experimentem, tak po něm. Po experimentu se její hodnoty vychylovaly spíše výše, než níže i když ke konci sledovaného období opět začaly klesat a více se blížit hodnotám výchozím. Tento fakt lze přisuzovat snížením množství přísad formovací směsi, kterým je věnovaná **kapitola 7.7**. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1 a 2**, které jsou součástí příloh této diplomové práce.



Graf 7.14.: Vývoj pevnosti ve střihu formovací směsi před a po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby.

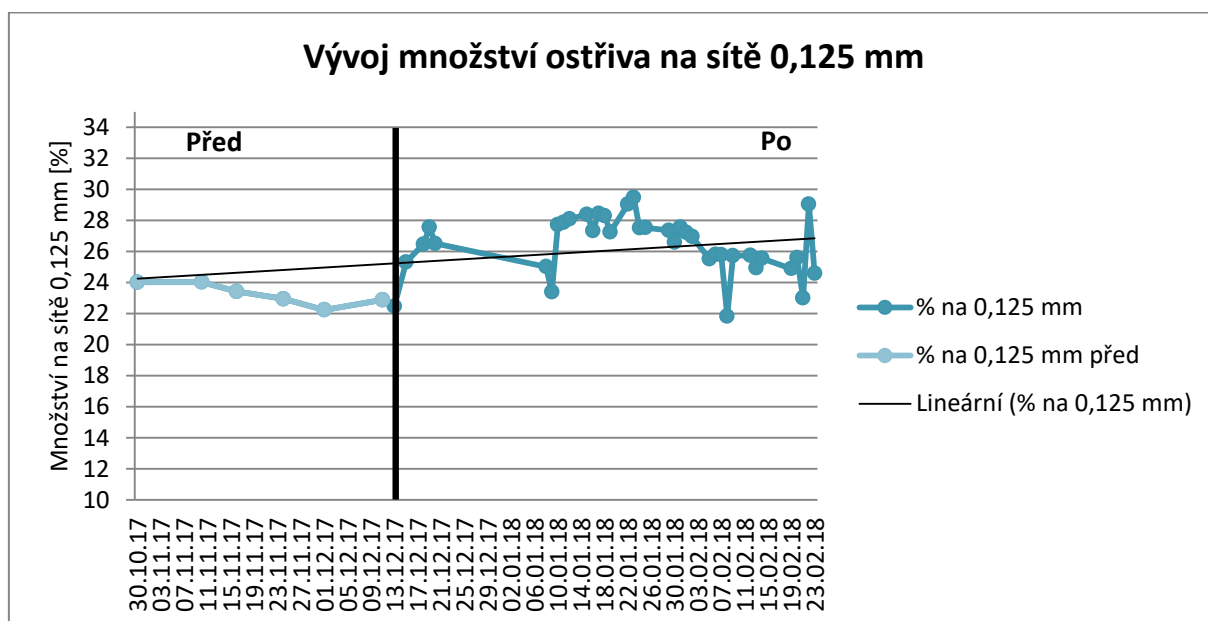
V první polovině **grafu 7.15** je znázorněno, jaké byly hodnoty prodyšnosti formovací směsi před provedením experimentu. V této době byla průměrná hodnota prodyšnosti **$133,49 \text{ m}^2 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$** . Z průběhu grafu lze zjistit, že tato hodnota byla velice nestabilní. Druhá polovina grafu popisuje hodnoty prodyšnosti během prvních dvou měsíců po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby. Průměrná hodnota v období během experimentu klesla, na **$113,76 \text{ m}^2 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$** , což je o **$19,73 \text{ m}^2 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$** méně, než před zavedením polského ostřiva do výroby. S tímto následkem bylo ale během plánování experimentu počítáno. Ke snížení prodyšnosti došlo vlivem zvýšení množství jemnozrnějšího ostřiva ve formovací směsi. Z druhé poloviny grafu je dobře znatelné, jak se měnilo množství přísad ve formovací směsi. V prosinci, kdy zůstalo zachované dávkování obou druhů bentonitů a oživování jednotné bentonitové směsi probíhalo pouze pomocí ostřiva Grudzeń Las prodyšnost znatelně a prakticky okamžitě klesala. Stoupat začala opět na začátku roku 2018 a jak je patrné z grafu, stále stoupala až do konce sledovaného období. Tento fakt lze vysvětlit tím, že v prosinci bylo ve formovací směsi vysoké množství jemných podílů jak z ostřiva, tak z bentonitů, proto prodyšnost rapidně klesala. Naopak, v roce 2018, kdy oživování probíhalo pomocí dvou druhů ostřiva a snižovalo se množství přísady bentonitů do směsi, docházelo ke zvýšení prodyšnosti. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 1 a 2**, které jsou součástí příloh této diplomové práce.



Graf 7.15.: Vývoj prodyšnosti formovací směsi před a po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby.

Po zavedení ostríva Grudzeń Las do výroby se začalo pečlivě sledovat množství vyplavitelných látek ve směsi, množství ostríva na síť 0,125 mm a také množství ostríva pod tímto sítím. Proto byl každý den odebrán vzorek formovací směsi a z něj provedena zkouška vyplavitelných podílů. Celkově bylo provedení experimentu a jeho vyhodnocení velice náročné. Během celého procesu bylo provedeno okolo 70 zkoušek vyplavitelných podílů a více než stovka zkoušek ostatních. Výsledky zkoušek vyplavitelných podílů jsou zaneseny do přehledné tabulky, která se nachází níže. Dále je každá sledovaná veličina vynesena do grafu a stručně popsána. Jak již bylo zmíněno v **kapitole 5.1.7**, zkouška vyplavitelných podílů se ve slévárně KASI spol. s.r.o. provádí speciálním postupem, přes síto 0,02 mm. Některé zkoušky byly prováděny ve školní laboratoři a následně porovnány s výsledky stejného vzorku, který se zkoušel v KASI spol. s.r.o. Výsledky byly téměř stejné a jejich odlišnost byla do 5 %.

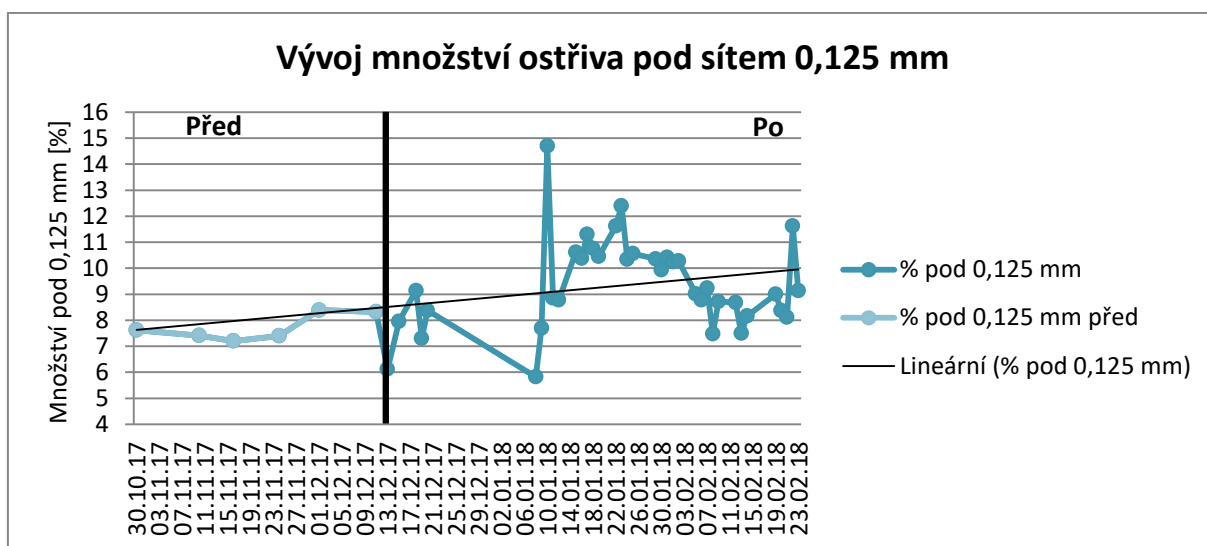
Z první poloviny **grafu 7.18.**, je patrné, jaké bylo množství ostríva na síť 0,125 mm po stanovení množství vyplavitelných látek před zavedením nového ostríva do výroby. V této době byla průměrná hodnota zastoupení ostríva na tomto síti **23,26 %**. Po zavedení ostríva Grudzeń Las do výroby se podle předpokladů zastoupení frakce na síť 0,125 mm zvýšilo. Během prvních dvou měsíců probíhajícího experimentu byla průměrná hodnota zastoupení ostríva na tomto síti **26,42 %**, což je o **3,16 %** více, než před zavedením ostríva do výroby. Z grafu je velice dobře pozorovatelné, kdy k implementaci ostríva do směsi došlo. Okamžitě se zastoupení frakce na tomto síti zvýšilo, což bylo jedním z předpokladů tohoto experimentu. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 3**, která je součástí příloh této diplomové práce.



Graf 7.18.: Vývoj množství ostríva na síť 0,125 mm před a během prováděného experimentu.

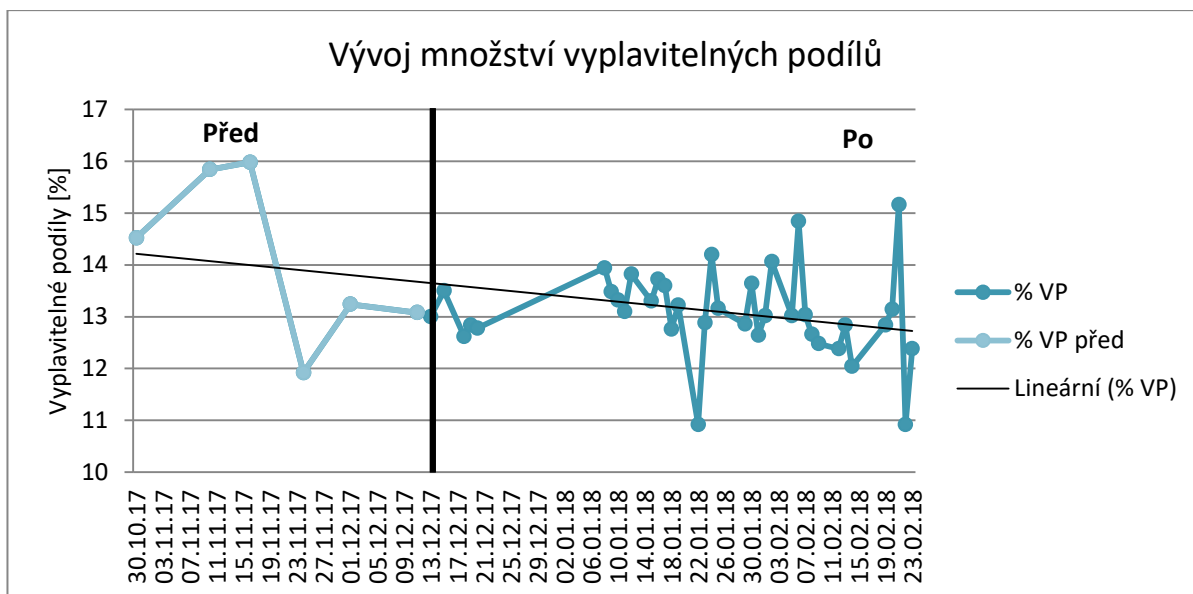
V první polovině **grafu 7.19.** je znázorněné množství ostríva nacházejícího se pod

sítem 0,125 mm před provedením experimentu. V této době byla průměrná hodnota ostřiva pod tímto sítem rovna **7,72 %**. Z grafu je patrné, že průběh byl klidnějšího charakteru, než po zavedení nového ostřiva do výroby. Jak již bylo zmíněno, jelikož se do formovací směsi začalo dávkovat jemnější ostřivo, vzrostl jeho podíl na síte 0,125 mm, předpokládalo se, že také dojde ke zvýšení množství ostřiva pod tímto sítem. K tomuto předpokladu také došlo. Po dvou měsících byla průměrná hodnota ostřiva pod sítem 0,125 mm **9,41 %**, což je o **1,69 %** více, než před počátkem experimentu. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 3**, která je součástí příloh této diplomové práce.



Graf 7.19.: Vývoj množství ostřiva pod sítem 0,125 mm před a během prováděného experimentu.

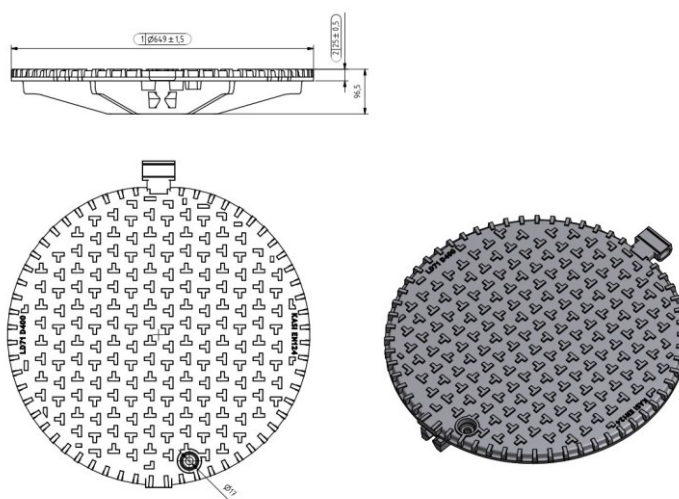
Z první poloviny **grafu 7.20** je patrné, jaké bylo množství vyplavitelných podílů před provedením experimentu. Během této doby probíhala tato zkouška pouze jednou. Průměrná hodnota vyplavitelných látek byla v době před implementací nového ostřiva do směsi **14,10 %**, což je běžná hodnota pro jednotné bentonitové směsi. Druhá polovina grafu popisuje vývoj vyplavitelných látek ve formovací směsi po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby. Po provedení rozsáhlých zkoušek vyplavitelných podílů během uplynulých dvou měsíců probíhajícího experimentu lze stanovit průměrné množství vyplavitelných podílů ve formovací směsi na **13,08 %**. Toto množství je o **1,02 % nižší**, než před počátkem experimentu. Snížení vyplavitelných podílů, což byl také jeden z požadavků na tento experiment lze vysvětlit snížením množství přísad do formovací směsi. Hodnoty v grafu jsou zpracované z **tabulky 3**, která je součástí příloh této diplomové práce.



Graf 7.20.: Vývoj množství vyplavitelných podílů před a během prováděného experimentu.

7.7 Vliv jednotné bentonitové směsi na povrch odlitku

K porovnání povrchu odlitku LD 71, který je znázorněn na **obrázku 7.1.** došlo, aby bylo prokázáno, že vlivem změn, které probíhaly ve formovací směsi během experimentu nedošlo k zhoršení povrchové kvality. V ideálním případě by mělo dojít k zlepšení povrchové kvality odlitku. V případě, že ke zlepšení nedojde, ale povrchová kvalita zůstane zachována, je výsledek také považován za vyhovující a to hlavně z důvodu vysoké úspory přísad formovací směsi.



Obrázek 7.4.: Model odlitku LD 71.

Povrch odlitků byl hodnocen pomocí etalonů SVÚM, které jsou viditelné na **obrázku 7.5.**



Obrázek 7.5.: Etalony pro porovnání povrchů SVÚM.

7.7.1 Povrch odlitku před počátkem experimentu

Z **obrázku 7.6.** je patrné, na jakém místě bylo prováděno stanovení povrchu u odlitku LD 71 před zavedením ostříva Grudzeń Las do výroby.



Obrázek 7.6.: Znázornění místa, pro porovnání povrchu u odlitku LD 71.

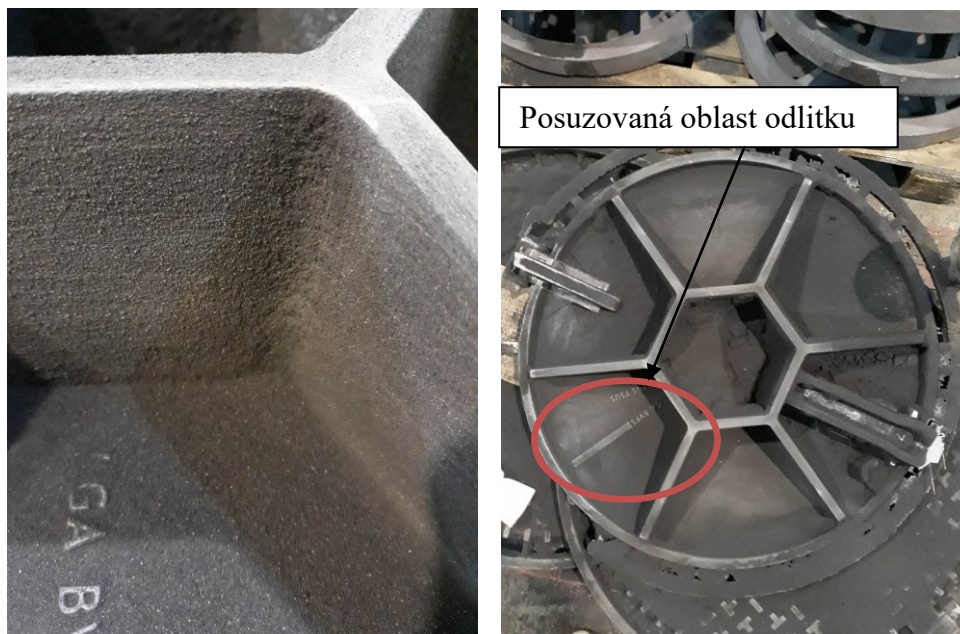
Povrchová kvalita byla hodnocená pomocí komparativní metody s použitím etalonů SVÚM. Na **obrázku 7.7.** je patrné, jaká byla povrchová kvalita odlitku LD 71 před zavedením ostříva Grudzeń Las do výroby. Povrch zkušebního odlitku odpovídal povrchu etalonu č. 5 SVÚM.



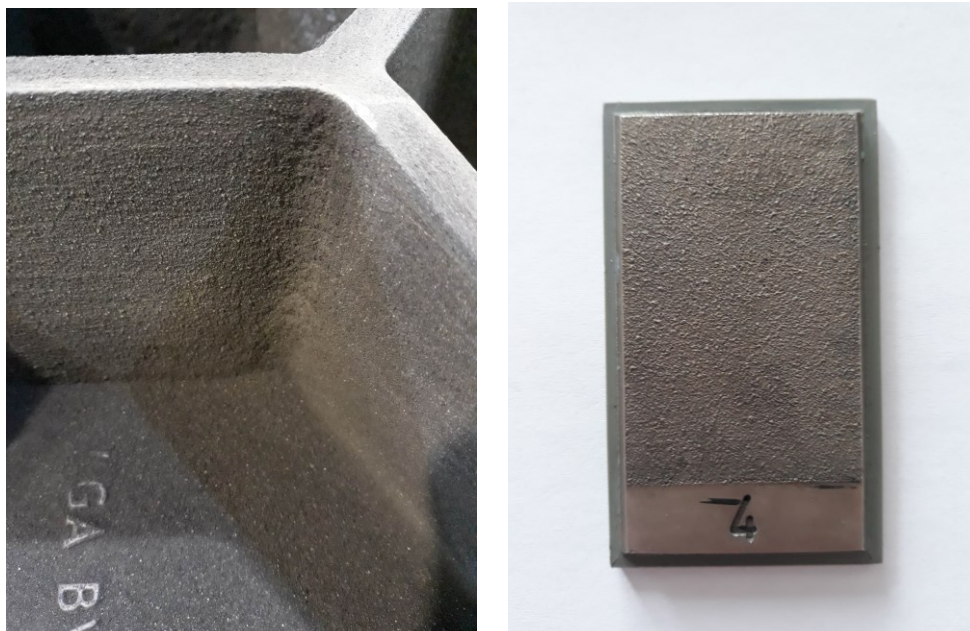
Obrázek 7.7.: Povrch odlitku LD 71 před provedením experimentu s etalonem SVÚM č. 5.

7.7.2 Povrch odlitku po zavedení Grudzeň Las do výroby

Po zavedení ostríva Grudzeň Las do výroby došlo k porovnání povrchu u stejného typu odlitku (LD 71, **obrázek 7.4.**). Povrch odlitku byl porovnávám stejnou metodou, pomocí etalonů SVÚM (**obrázek 7.5.**). Z **obrázku 7.8.** je patrné, z jaké části odlitku byly stanoveny povrchové vlastnosti.



Obrázek 7.8.: Znáznornění místa, pro porovnání povrchu u odlitku LD 71 po zavedení Grudzeň Las do výroby.



Obrázek 7.9.: Povrch odlitku LD 71 po zavedení Grudzeň Las do výroby s etalonem SVÚM č. 4.

Na **obrázku 7.9.** je znázorněno porovnání povrchu odlitku po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby. Při porovnání povrchu odlitků je patrné, že v době dávkování Grudzeň Las došlo ke zlepšení povrchu o jednu třídu. Na konci experimentu byla povrchová jakost srovnatelná s etalonem č. 4 SVÚM. Vlivem přídatku Grudzeň Las došlo tedy také k požadovanému zlepšení povrchové kvality odlitků.

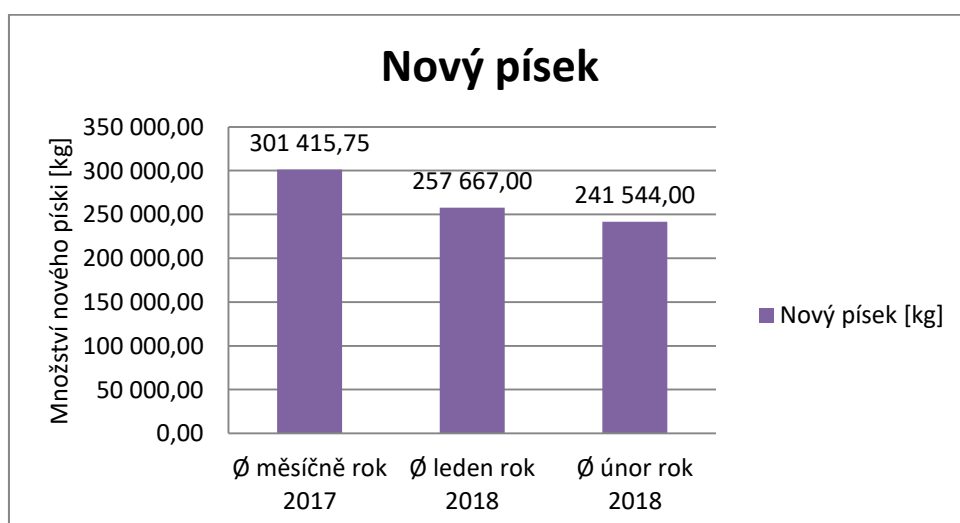
7.8 Úspory na materiálu po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby

V KASI spol. s.r.o., se každý měsíc zpracovává tabulka spotřeb materiálů pro výrobu formovací směsi. V **tabulce 7.5** je znázorněno, jak se snižovala spotřeba materiálu na výrobu formovací směsi po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby. Veškerá data jsou podrobně zpracována v tabulce a znázorněna v grafech.

Tabulka 7.5.: Tabulka znázorňující úspory materiálu po zavedení ostřiva Grudzeň Las.

KASI	Ø měsíčně rok 2017	Ø leden rok 2018	Ø únor rok 2018
Nový písek [kg]	301 415,75	257 667,00	241 544,00
Geko [kg]	41 500,42	30 728,00	35 774,00
Ecosil [kg]	67 567,67	53 992,00	34 680,00
Voda na mísič [l/mísič]	35,64	33,49	32,79
voda do směsi na t/odlitého kovu [l/t]	18,23	16,45	16,88
bentonit na t/odlitého kovu [kg/t]	54,69	44,90	35,40
uhlíkatá složka na t/odlitého kovu [kg/t]	9,18	8,70	5,12

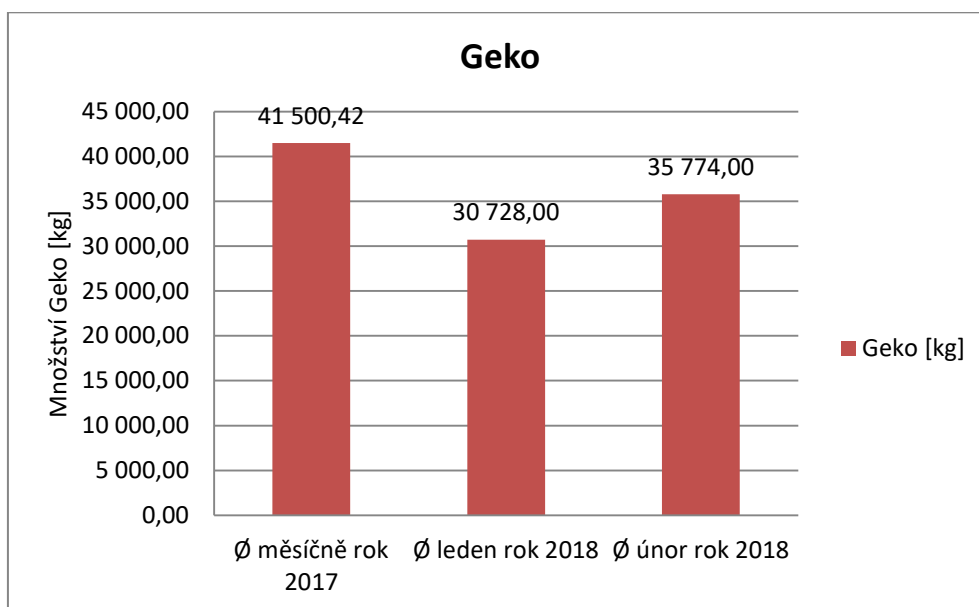
Jak je patrné z tabulky, po zavedení ostřiva Grudzeň Las, došlo k výrazným úsporám, ve spotřebách surovin pro výrobu formovací směsi.



Graf 7. 21.: Graf znázorňující průměrnou spotřebu nového písku po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby.

Jak je patrné z **grafu 7. 21.** spotřeba nového písku po zavedení ostřiva Grudzeň Las klesala. Úspora přímo po zavedení byla **43 748 kg** a mezi lednem a únorem potom **16 123 kg**. Celkově tedy úspora na novém písku po dvou měsících od začátku experimentu byla **59 871,75 kg**.

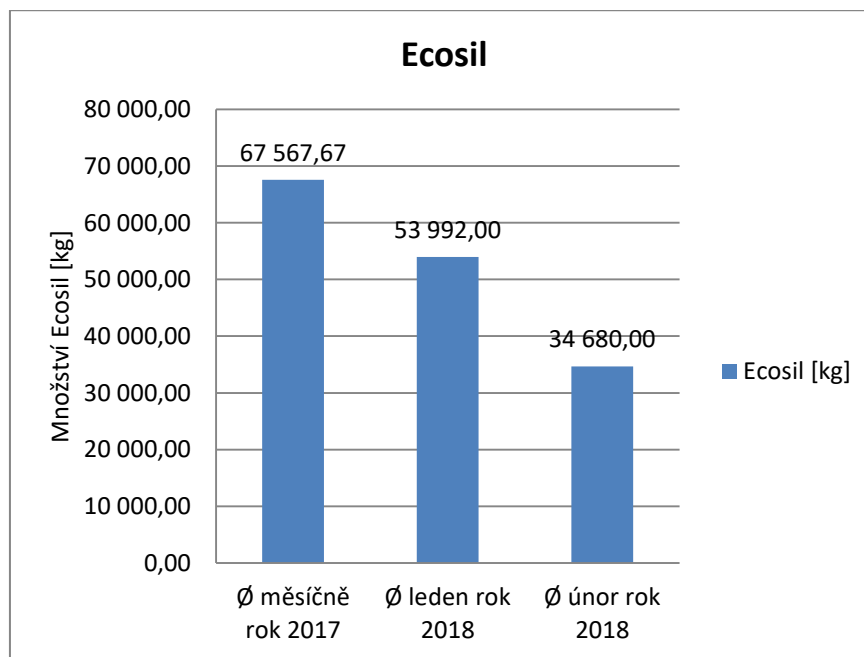
Z **grafu 7. 22.** plyne, že se spotřeba bentonitu Geko po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby snížila o **10 772,42 kg** a mezi lednem a únorem její spotřeba opět stoupla o **5 046,00 kg**. K tomuto navýšení došlo z důvodu úpravy dávkování, nejprve se do směsi dávalo větší množství směsného Ecosil bentonitu a menší množství bentonitu Geko, v tuto chvíli je dávkování obou druhů bentonitů v poměru 50:50. I po provedení těchto změn klesla po zavedení ostřiva Grudzeň Las spotřeba bentonitu Geko o **5 726,42 kg**.



Graf 7. 22.: Graf znázorňující průměrnou spotřebu bentonitu Geko po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby.

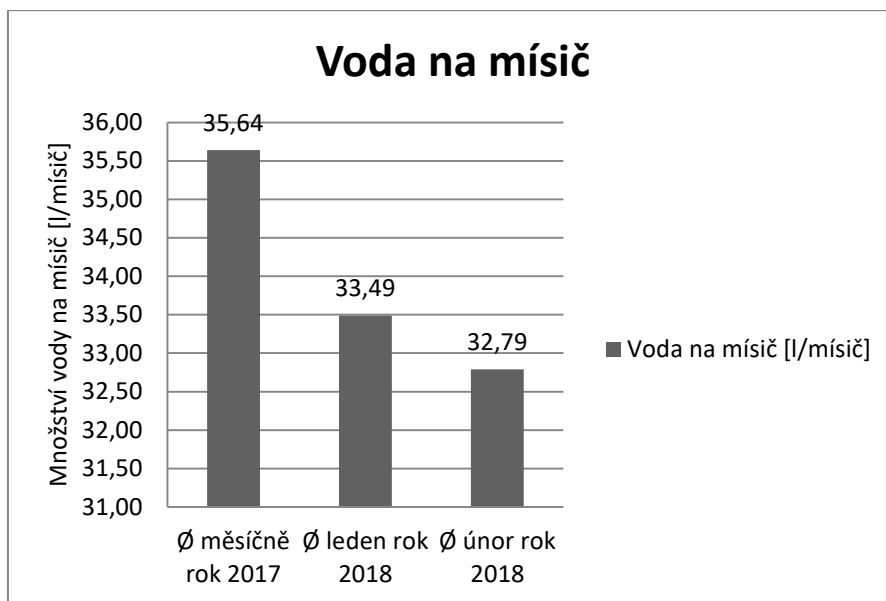
Ecosil je směsný bentonit, který obsahuje uhlíkatou přísadu. Po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby se první měsíc dávkovalo v klasickém poměru 60:40 (Ecosil : Geko). V tomto případě byla úspora **13 575,67 kg**. Po prvním měsíci testování nové směsi se poměr upravil, jak už bylo zmíněno výše na 50:50 a úspora opět stoupala a to na **19 312,00 kg**. Celkově během dvouměsíčního experimentu bylo ušetřeno **32 887,67 kg** směsného bentonitu Ecosil. Úspory jsou patrné z **grafu 7.23.**

Jak je patrné z obou grafů, došlo po zavedení polského ostřiva ke snížení množství bentonitu ve formovací směsi. Jelikož je toto snížení vcelku rapidní a to především u směsného bentonitu Ecosil, je vhodné zmínit finanční úsporu, která mezi měsíci lednem a únorem na těchto dvou surovinách činila **82 299,50 Kč**. Podrobnější kalkulace celého experimentu je v **kapitole 8**.



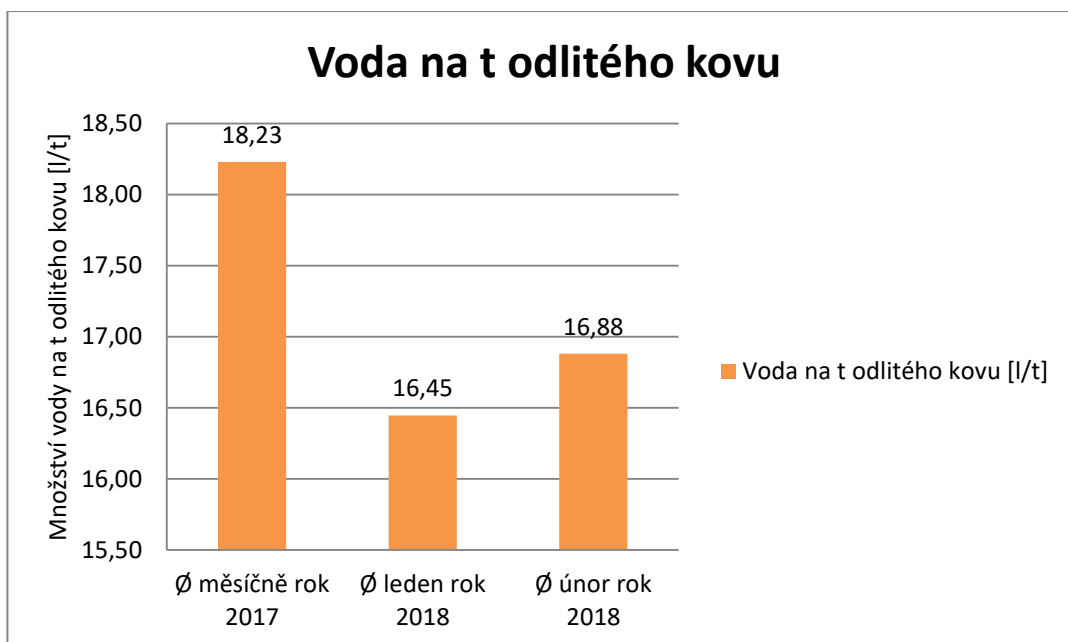
Graf 7.23.: Graf znázorňující průměrnou spotřebu bentonitu Ecosil po zavedení ostřiva Grudzeň Las do výroby.

Vzhledem k úsporám popsaným výše, lze předpokládat, že vlivem snižujícího se množství bentonitu ve formovací směsi bude také klesat spotřeba vody. V **grafu 7.24**. Je znázorněné množství spotřebované vody v litrech na jeden mísič. V tomto případě byla úspora po zavedení experimentu **2,15 l** a rozdíl mezi měsíci lednem a únorem **0,70 l**. Celkově se během experimentu snížila spotřeba vody na jeden mísič o **2,85 l**.



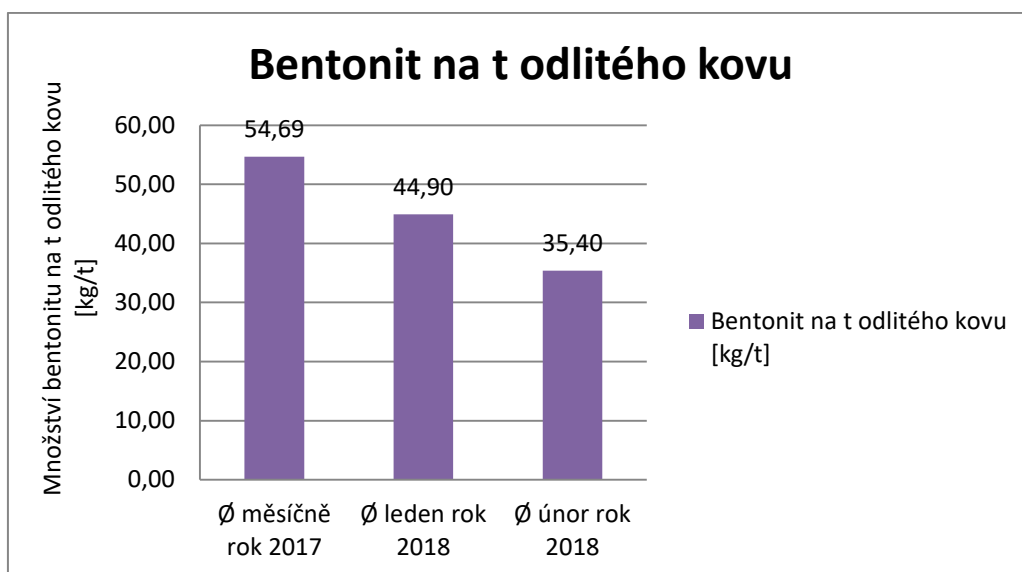
Graf 7.24.: Graf znázorňující průměrnou spotřebu vody na jeden mísič po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby.

V **grafu 7.25.** je zaznamenaná spotřeba vody v litrech na tunu odlitého kovu. Při zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby klesla spotřeba vody o **1,79 l** na tunu odlitého kovu. V dalším průběhu experimentu toto množství vzrostlo o **0,43 l**. V celkovém součtu však došlo k úspoře **1,35 l** vody na tunu odlitého kovu.



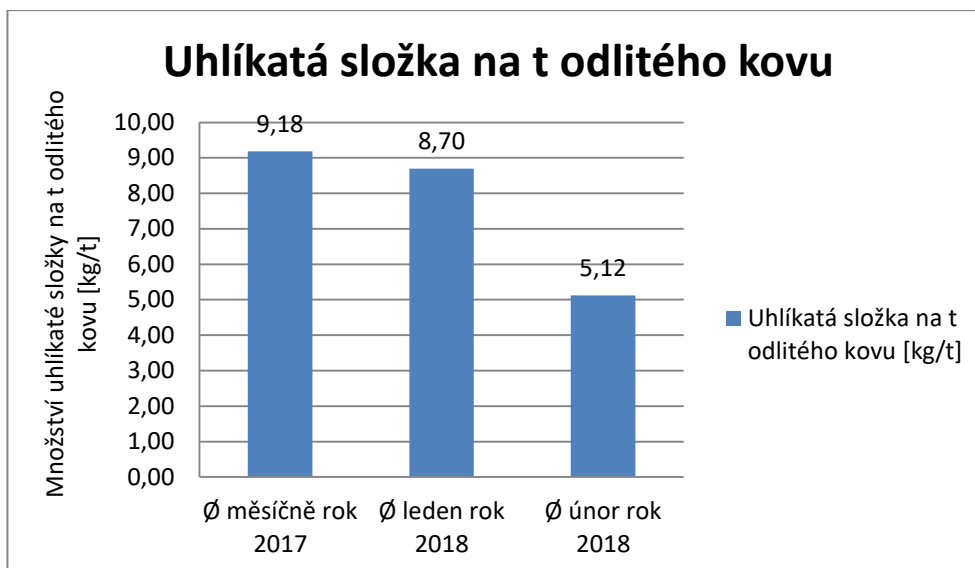
Graf 7.25.: Graf znázorňující průměrnou spotřebu vody na jednu tunu odlitého kovu po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby.

V **grafu 7.26.** je znázorněná průměrná spotřeba bentonitu (Geko + Ecosil) na tunu odlitého kovu. Jelikož po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby výrazně klesaly spotřeby obou těchto bentonitů ve formovací směsi, je jasné, že se snížilo celkové množství bentonitu ve směsi na jednu tunu odlitého kovu. Během prvního měsíce klesla spotřeba bentonitu o **9,79 kg** na tunu odlitého kovu. V druhém měsíci probíhajícího experimentu, kde bylo množství ještě více sníženo, došlo oproti lednu k úspoře dalších **9,50 kg**. Celkově se dobu průběhu experimentu snížilo množství použitého bentonitu o **19,29 kg**, což je více, než o **35 %** méně, než před zavedením ostřiva Grudzeń Las do výroby.



Graf 7. 26.: Graf znázorňující průměrnou spotřebu bentonitu na jednu tunu odlitého kovu po zavedení ostřiva Grudzeń Las do výroby.

Jedním z požadavků tohoto experimentu bylo, aby došlo ke snížení množství uhlíkaté přísady ve formovací směsi. Jak bylo již výše popsáno, došlo ke snížení dávkování směsného bentonitu do formovací směsi a tudíž, i ke snížení množství uhlíkaté přísady ve formovací směsi. Jak je patrné z **grafu 7.27.** Nejprve došlo k nepatrnému snížení o **0,48 kg**. V další fázi experimentu, došlo k výraznějšímu snížení a to o **3,58 kg** na tunu odlitého kovu. Celkově tedy byla úspora po dvou měsících probíhajícího experimentu **4,06 kg** uhlíkaté složky na tunu odlitého kovu, což je více, než 44 % oproti původnímu stavu.



Graf 7.27.: Graf znázorňující průměrné množství uhlíkaté přísady na jednu tunu odlitého kovu po zavedení ostrůva Grudzeń Las do výroby.

7.9 Neshodná výroba

Vzhledem k probíhajícím změnám ve složení formovací směsi, bylo vhodné také sledovat, jak se bude vyvíjet neshodná výroba. Jak bylo zmíněno v kapitole výše, došlo během experimentu k výrazným úsporám přísad, proto se sledovalo, jaký tento krok bude mít dopad na celkovou produkci neshodných výrobků během prvních dvou měsíců experimentu. Všechna data jsou zpracována v přehledné tabulce. V tabulce se nachází pouze procentuální zastoupení vad způsobených formovací směsí, ostatní skupiny vad nejsou pro zhodnocení této diplomové práce relevantní.

Tabulka 7.6.: Tabulka neshodné výroby před zavedením ostřiva Grudzeń Las do výroby.

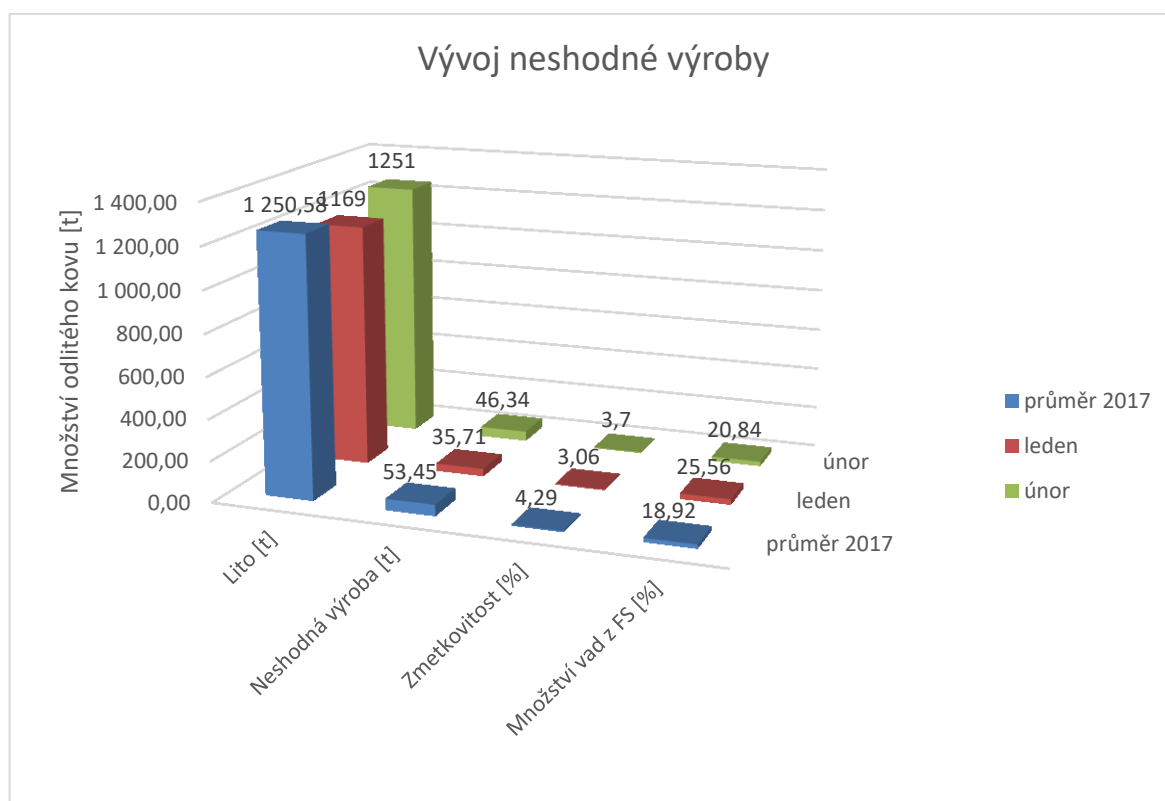
Rok	Měsíc	Lito	Zmetky	Zmetkovitost	vady formy a písku	
		[t]	[t]	[%]	[kg]	[%]
2017	1	977,00	40,41	4,14	8 410,20	20,81
2017	2	1 426,00	55,54	3,90	14 258,70	25,67
2017	3	1 488,00	59,08	3,97	11 025,10	18,66
2017	4	1 267,00	55,11	4,35	15 063,50	27,33
2017	5	1 214,00	54,07	4,45	14 558,80	26,92
2017	6	1 496,00	63,27	4,23	11 036,40	17,44
2017	7	930,00	54,72	5,88	5 964,20	10,90
2017	8	1 407,00	73,82	5,25	10 678,20	14,47
2017	9	1 147,00	49,83	4,34	7 498,60	15,05
2017	10	1 375,00	63,02	4,58	8 308,20	13,18
2017	11	1 389,00	42,62	3,07	9 485,30	22,26
2017	12	891,00	29,86	3,35	4 286,50	14,36
Průměr:		1 250,58	53,45	4,29	10 047,81	18,92

Z tabulky 7. 6. je patrné, jaké bylo množství neshodné výroby ve slévárně KASI spol. s.r.o. během roku 2017. Obecně lze říci, že výroba neshodných kusů je velice malá. Za rok 2017 se celkové množství neshodné výroby pohybovalo průměrně okolo **4,29 %**. Celková neshodná výroba je poté rozdělena a procentuálně vyčíslena do jednotlivých skupin vad. Pro naše účely jsou vypovídající hodnota vad způsobené formovací směsí. Tato vada tvořila v roce 2017 z celkové neshodné výroby **18,92 %**. Celkově největší zastoupení mají vady, nedolití a studený svar. Dohromady tyto vady v roce 2017 tvořily průměrně 52,95 % z celkové průměrné roční produkce neshodné výroby.

Tabulka 7. 7. popisuje, jak se vyvíjelo množství neshodné výroby během prvních dvou měsíců průběhu experimentu. Průměrně je množství odlitého kovu prakticky shodné. První, na co je nutné upozornit je, že po zavedení ostríva Grudzeń Las do výroby klesla celková produkce neshodné výroby na **3,38 %**, což je o **0,91 %** méně, než v roce 2017. Z tohoto množství tvořily vady způsobené formovací směsí v průměru **23,20 %**. Hodnota procentuálního zastoupení je vyšší, než v roce 2017, ale celkově produkce neshodných výrobků klesla, což je nejdůležitějším faktem zavedení nového ostríva do výroby. Stejně jako v roce 2017 tvoří největší část z produkce neshodných výrobků vada nezaběhnutí a studený spoj, které v tomto roce tvoří průměrně **49,98 %**.

Tabulka 7.7.: Tabulka neshodné výroby po zavedení ostríva Grudzeń Las do výroby.

Rok	Měsíc	Lito	Zmetky	Zmetkovitost	vady formy a písku	
		[t]	[t]	[%]	[kg]	[%]
2018	1	1 169,00	35,71	3,06	9 127,00	25,56
2018	2	1 251,00	46,34	3,70	9 658,80	20,84
Průměr:		1 210,00	41,03	3,38	9 392,90	23,20



Graf 7.28.: Graf znázorňující vývoj neshodné výroby před a po zavedení ostríva Grudzeń Las do výroby.

V **grafu 7.28.** je znázorněno, jak se vyvíjelo množství neshodné výroby před a po provedení experimentu. Tento sloupkový graf popisuje, kolik tun bylo v jednotlivých měsících odlito, kolik tun odlitku se zařadilo do neshodné výroby, jaké je to celkově procentuální zastoupení a v posledním sloupci je popsáno, jaké procento z množství neshodných výrobků bylo způsobeno formovací směsí. Jelikož průměrné množství bylo po celou dobu prakticky shodné, je toto srovnání velice přesné. Z grafu vyplývá, že se množství neshodné výroby po zavedení ostrůva Grudzeń Las do výroby snížilo. Graf také vypovídá, že se zastoupení vad způsobených formovací směsí zvýšilo, ale jelikož se celková produkce neshodné výroby snížila, je tento údaj irelevantní. Průměrně se množství neshodné výroby způsobené formovací směsí během prvních dvou měsíců roku 2018 **snížilo o 655 kg.**

8 Kalkulace experimentu

V následující kapitole bude vyčíslena kalkulace experimentu během prvních dvou měsíců průběhu. Bude zde vyčíslena průměrná kalkulace za rok 2017.

Tabulka 8.1.: Tabulka cen přísad formovací směsi.

	Cena		Doprava	
	Eur/t	Kč/t	Eur/t	Kč/t
Střeleč	-	788,00	-	-
Grudzeň Las	-	1 224,00	-	-
Ecosil	186,50	4 662,50	-	720,00
Geko	148,00	3 700,00	23,79	594,75

Euro počítáno s kurzem 25 Kč.

8.1.1 Cena formovací směsi při průměrných spotřebách za rok 2017

Tabulka 8.2.: Spotřeby materiálu pro výrobu formovací směsi během roku 2017.

	Nový písek	Vratný písek	Bentonit	Směs. Bentonit	Sur. hmotnost
	kg	kg	kg	kg	t
Leden	236 686	15 276 638	31 442	60 772	1 246
Únor	330 186	22 409 798	42 783	78 907	1 856
Březen	372 660	25 029 617	49 608	84 762	1 964
Duben	340 745	22 340 746	43 132	71 952	1 742
Květen	299 490	19 213 268	35 830	59 977	1 616
Červen	310 392	25 037 508	40 837	70 188	2 013
Červenec	245 992	19 715 075	30 636	49 777	1 230
Srpen	425 574	24 621 639	48 920	75 786	1 950
Září	262 060	18 706 489	40 660	70 048	1 530
Říjen	270 450	0	66 180	83 400	1 890
Listopad	309 576	23 135 979	42 170	60 587	1 820
Prosinec	213 198	16 278 337	25 807	38 597	1 189
Průměr:	301 417	21 069 554	41 500	67 063	1 671

Cena vratné směsi – pro přesnější výsledky byla vypočtena cena vratné směsi. Jelikož se v KASI oživuje 2 % nového ostřiva, předpokládá se, že jedno zrnko ostřiva oběhne ve formovací směsi 50x dokud směs neopustí. Cena vratné směsi je zde započítána, protože i její příprava je finančně nákladná.

Cena vratné formovací směsi – postup byl takový, že se nejdříve vypočetla finanční nákladnost **na 100 kg nové směsi** a jelikož se **oživuje 2 % nového ostřiva**, tato **cena byla vydělena 50**.

Formovací směs obsahuje 8% bentonitu a to v poměru 65:35 (směsný bentonit : bentonit).

Střeleč – 100 kg – 78,80 Kč

Bentonit – 3,2 kg – 13,70 Kč

Směsný bentonit – 4,8 kg – 25,84 Kč

Cena nové formovací směsi – **118,34 Kč**

Cena 1 kg nové formovací směsi – $118,34 : 100 = 1,18 \text{ Kč}$

Cena za 1kg vratné formovací směsi – $1,18 : 50 = 0,0236 \text{ Kč}$

Nový písek ST – 301,417 t – cena: **237 516,60 Kč**

Bentonit - 41,5 t – cena: $153\,550 + 24\,485 \text{ (doprava)} = \mathbf{178\,035 \text{ Kč}}$

Směsný bentonit – 67,063 t – cena: $312\,681,24 + 48\,285,36 \text{ (doprava)} = \mathbf{360\,966,60 \text{ Kč}}$

Vratný písek – 21 069,554 t – cena: **497 241,48 Kč**

Cena za 1 t směsi: $1\,273\,759,68 : 21\,749,534 = \mathbf{58,56 \text{ Kč}}$

Cena za 1 kg směsi: $58,56 : 1000 = \mathbf{0,058 \text{ Kč}}$

Cena písku na kilogram kovu. Poměr písek : kov => 13,30 : 1

$$13,30 \cdot 0,058 = \mathbf{0,7714 \text{ Kč}}$$

8.1.2 Cena formovací směsi za leden 2018

Nyní bude vyčíslena kalkulace formovací směsi v prvním měsíci experimentu. Kalkulace probíhá stejným způsobem, jako v kapitole výše.

Tabulka 8.3.: Spotřeby materiálu pro výrobu formovací směsi během ledna 2018.

	Nový písek ST	Nový písek GL	Vratný písek	Bentonit	Směs. Bentonit	Sur. hmotnost
	kg	kg	kg	kg	kg	t
Leden 2018	182 667	75 000	19 193 641	30 728	53 992	1 552

Cena vratné směsi – byla vypočítána stejným způsobem jako v kapitole 8.1.1. Po zavedení ostríva Grudzeń Las bylo dávkování ostrív v poměru 70:30 (ST:GL), množství bentonitu bylo v poměru 60:40 (směsný bentonit : bentonit).

Střeleč – 70 kg – 55,16 Kč

Grudzeń Las – 30 kg – 36,72 Kč

Bentonit – 2,8 kg – 12,00 Kč

Směsný bentonit – 5,2 kg – 28,00 Kč

Cena nové formovací směsi – **131,88 Kč**

Cena 1 kg nové formovací směsi – $131,88 : 100 = 1,3188$ Kč

Cena za 1kg vratné formovací směsi – $1,3188 : 50 = 0,264$ Kč

Nový písek ST – 182,667 t – cena: **143 941,60 Kč**

Nový písek GL – 75,00 t – cena: **91 800,00 Kč**

Bentonit - 30,728 t – cena: $113,693,60 + 18\,129,52$ (doprava) = **131 823,12 Kč**

Směsný bentonit – 53,992 t – cena: $251\,737,7 + 38\,874,24$ (doprava) = **290 611,94 Kč**

Vratný písek – 19 193,641 t – cena: **506 712,12 Kč**

Cena za 1 t směsi: $1\,164\,888,78 : 19\,536,028 = 59,63$ Kč

Cena za 1 kg směsi: $59,63 : 1000 = 0,059$ Kč

Cena písku na kilogram kovu. Poměr písek : kov => 12,59 : 1

$$12,59 \cdot 0,059 = 0,7430 \text{ Kč}$$

8.1.3 Cena formovací směsi za únor 2018

Nyní bude vyčíslena kalkulace formovací směsi v druhém měsíci experimentu. Kalkulace probíhá stejným způsobem, jako v kapitole výše.

Tabulka 8.4: Spotřeby materiálu pro výrobu formovací směsi během února 2018.

	Nový písek ST	Nový písek GL	Vratný písek	Bentonit	Směs. Bentonit	Sur. hmotnost
	kg	kg	kg	kg	kg	t
Únor 2018	162 744	78 800	22 023 142	35 774	34 680	1 696

Cena vratné směsi – byla vypočítána stejným způsobem jako v kapitole 8.1.1. Po zavedení ostríva Grudzeň Las bylo dávkování ostrív v poměru 70:30 (ST:GL), množství bentonitu v poměru 50:50 (směsný bentonit : bentonit).

Střeleč – 70 kg – 55,16 Kč

Grudzeň Las – 30 kg – 36,72 Kč

Bentonit – 4 kg – 17,16 Kč

Směsný bentonit – 4 kg – 21,53 Kč

Cena nové formovací směsi – **130,57 Kč**

Cena 1 kg nové formovací směsi – $130,57 : 100 = 1,30$ Kč

Cena za 1kg vratné formovací směsi – $1,30 : 50 = 0,26$ Kč

Nový písek ST – 162,744 t – cena: **128 242,27 Kč**

Nový písek GL – 78,80 t – cena: **96 451,20Kč**

Bentonit - 35,774 t – cena: $132\,363,80 + 21\,106,66$ (doprava) = **153 470,46 Kč**

Směsný bentonit – 34,68 t – cena: $161\,695,50 + 24\,969,60$ (doprava) = **186 665,10 Kč**

Vratný písek – 22 023,142 t – cena: **572 601,69 Kč**

Cena za 1 t směsi: $1\,137\,430,72 : 22\,335,14 = 50,92$ Kč

Cena za 1 kg směsi: $50,92 : 1000 = 0,051$ Kč

Cena písku na kilogram kovu. Poměr písek : kov => 13,18 : 1

$$13,18 \cdot 0,051 = 0,68 \text{ Kč}$$

Tabulka 8.5: Porovnání ceny formovací směsi před a po experimentu

	Cena směsi na kg odlitého kovu [Kč]	Odlito [t]	Cena FS rok 2017 [Kč]	Cena FS leden 2018 [Kč]	Cena FS únor 2018 [Kč]
Rok 2017	0,7714	1 671,00	1 289 009,40		
Leden 2018	0,7430	1 552,00	1 197 212,80	1 153 136,00	
Únor 2018	0,6800	1 696,00	1 308 294,40	1 260 128,00	1 153 280,00

V **tabulce 8.5.**, je znázorněno, jak se měnila cena jednotné bentonitové směsi na jeden kilogram odlitého kovu. Ve třetím sloupci této tabulky jsou ceny směsi, pokud by se pracovalo se směsí z měsíce prosince. Znamená to tedy, že v tomto sloupci jsou tuny odlitého kovu, které byly během pozorovaných měsíců vyrobeny, vynásobeny hodnotou 0,7714 Kč. Ve čtvrtém sloupci je počítáno obdobně, s rozdílem, že cena je počítána pouze pro měsíc leden a únor. V posledním sloupci je vypočtená cena formovací směsi za měsíc únor. Z hodnot této tabulky lze vypočítat, že finanční úspora mezi měsícem prosincem a lednem činila **44 076,80 Kč**. Stejně tak lze zjistit úsporu mezi měsíci lednem a únorem, která v tomto případě činila **106 848,00 Kč**. Celková úspora mezi únorem 2018 a rokem 2017 je **155 014,40 Kč**. Jelikož vlastnosti formovací směsi a odlitků z ní vyrobených jsou vyhovující, zůstane dávkování z měsíce února dále implementováno do výroby, z čehož lze vypočíst, že slévárna KASI spol. s r.o. díky tomuto experimentu ročně ušetří až **1 860 172,80 Kč**.

9 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda smícháním dvou rozdílných ostřiv lze zlepšit formovací směs. Před provedením experimentu se ve slévárně KASI spol. s.r.o. využívalo ostřivo Střeleč, jehož naleziště se nachází nedaleko sídla této slévárny. Pro produkci byly také vhodné vlastnosti formovací směsi, která z tohoto ostřiva vznikla. Prvotní myšlenka byla, že se do stávajícího ostřiva Střeleč, které se používá s granulometrií středního zrna 0,22 mm, přidá ostřivo stejného druhu s nižší granulometrií. Bohužel tento experiment nebylo možné uskutečnit a to z důvodu obrušování zrníček ostřiva během transportu do síla. Tato slévárna nedisponuje velkým prostorem, proto je řešena v několika patrech a ostřivo do síla se transportuje pneumatickou dopravou se třemi koleny, ve kterých dochází k obrušování ostrých hran ostřiva. Z tohoto důvodu se začalo hledat ostřivo, které je kulaté a během transportu do síla nebude obrušováno. Tomuto požadavku vyhovovalo ostřivo polského původu Grudzeń Las. Na provedení tohoto experimentu se pracovalo od srpna roku 2017 a první implementace ostřiva Grudzeń Las do stávající formovací směsi byla 13. prosince 2017. Do té doby byla ve školních laboratořích provedena měření, během níž došlo ke stanovení vhodného poměru obou ostřiv. Při stanovování tohoto poměru bylo důležité, aby se dostatečně zvedl podíl ostřiva na síti 0,125 mm zároveň však, aby se směs vyplatila z hlediska finančního. Z prvotního měření byl jako vyhovující stanoven poměr 80 % ostřiva Střeleč a 20 % ostřiva Grudzeń Las. Výsledky všech měření byly zaslány do slévárny KASI spol. s.r.o. a důkladně konzultovány. Po této konzultaci bylo rozhodnuto, že výhodnější bude používat poměr 70 % Střelče a 30 % Grudzeń Las. Zároveň se v této fázi sbíraly hodnoty vlastností stávající formovací směsi, které byly použity jako hodnoty, se kterými se směs bude po zavedení ostřiva Grudzeń Las srovnávat. V polovině prosince po stanovení vhodného poměru ostřiv a stanovení počátečních vlastností formovací směsi začalo dávkování Grudzeń Las do formovací směsi. Do konce roku 2017 se dávkovalo pouze Grudzeń Las, aby došlo k nasycení formovací směsi. Do oběhu se do té doby dostalo 90 tun tohoto ostřiva. Od začátku roku 2018 až do ukončení experimentu na konci února 2018 byl udržován poměr 70 % Střelče a 30 % Grudzeń Las. Po zavedení ostřiva byly po dobu dvou měsíců každý den sledované vlastnosti formovací směsi, včetně vzorku na vyplavitelné podíly. Po uplynutí této doby došlo k porovnání jednotlivých vlastností před zavedením ostřiva do výroby a po něm. Z tohoto srovnání vyplývá, že vlhkost formovací směsi byla o **0,01 % vyšší**, spěchovatelnost o **1,14 % vyšší**, vaznost formovací směsi o **12,82 kPa vyšší**, pevnost ve stříhu o **3,22 kPa vyšší** a prodyšnost formovací směsi **klesla o $19,73 \text{ m}^2 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$** .

Pokles prodyšnosti lze vysvětlit zvýšeným množstvím jemných podílů ve formovací směsi. Jak již bylo zmíněno, byly prováděny také zkoušky vyplavitelných podílů a následné síťové rozbory, z níž je patrné, že množství ostřiva na síť 0,125 mm je o **3,16 % vyšší**, množství ostřiva pod sítí 0,125 mm je o **1,69 % vyšší** a množství vyplavitelných látek ve formovací směsi během dvou měsíců **kleslo o 1,02 %**. Jedním z cílů experimentu bylo zlepšení povrchových vlastností odlitků z grafitizujících slitin železa vyrábějících se ve společnosti KASI spol. s.r.o.. Hodnocení povrchů odlitků bylo prováděno komparativní metodou pomocí etalonů SVÚM. Z výsledků je patrné, že se po zavedení ostřiva Grudzeň Las zlepšily povrchové vlastnosti u sledovaných odlitků LD 71 **ze třídy 5 na třídu 4**. Díky zavedení ostřiva Grudzeň Las došlo k výrazným úsporám přísad formovací směsi. Spotřeba bentonitu Geko **klesla** s porovnáním s průměrnou spotřebou roku 2017 o **5 726,42 kg**, spotřeba směsného bentonitu Ecosil **klesla o 32 887,67 kg**. Množství uhlíkaté složky na tunu kovu **klesla o 4,06 kg** a celková spotřeba bentonitu meziročně klesla o **více než 35 %**. Jelikož došlo k nezanedbatelnému snížení přísad formovací směsi, bylo nutné sledovat vývoj produkce neshodné výroby během probíhajícího experimentu, Průměrně se hodnota neshodné výroby oproti roku 2017 snížila o **0,91 %**. Posledním bodem zhodnocení úspěšnosti tohoto experimentu byla ekonomická stránka. Před zavedením ostřiva Grudzeň Las do výroby byla cena jednotné bentonitové směsi na kilogram tekutého kovu **0,7714 Kč**. Momentálně stojí směs na jeden kilogram tekutého kovu **0,68 Kč**. Přestože se hodna úspory zdá nízká, v objemu výroby slévárny KASI spol. s.r.o. je úspora měsíčně **155 014,40 Kč**, což za rok činí až **1 860 172,00 Kč**.

S ohledem na veškeré výsledky sepsané v této diplomové práci, lze vyhodnotit, že zavedení ostřiva Grudzeň Las přineslo zlepšení vlastností formovací směsi, snížení přísad formovací směsi, zlepšení povrchu vyráběných odlitků, snížení produkce neshodné výroby a nezanedbatelnou finanční úsporu.

Použité zdroje

- [1] JELÍNEK, P. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí: ostrůva*. Ostrava: Petr Jelínek, 2000. ISBN 80-238-6118-2.
- [2] RUSÍN, K; BRYCHTA, R. *Formovací materiály a snižování nákladů na odlitek: Formmaterialien und Kostenabbau bei Gußstück-Herstellung = Moulding materials and cost reductions for casting* : 19. a 20.4.2005 hotel Devět Skal, Českomoravská vrchovina, Milovy : mezinárodní konference, 8. ročník. Brno: Česká slévárenská společnost, 2005. ISBN isbn80-02-01725-0.
- [3] JELÍNEK, P. *Slévárenství*. 5. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN isbn978-80-248-1282-3.
- [4] BROWN, J. *Foseco Ferrous Foundryman's Handbook*. Vyd. 1., Oxford: BUTTERWORTH HEINEMANN, 2000, 384 s. ISBN 978-07-5064-284-2.
- [5] JELÍNEK, P. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: (chemie slévárenských pojiv)*. [Ostrava: P. Jelínek], 2004. ISBN 8023921886.
- [6] VELEBIL, D. *Jílové minerály* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.velebil.net/minerality/jilove-minerality>
- [7] NASREEN, A. *Montmorillonite*. Synlett [online]. 2001(08), 1341-1342 [cit. 2018-04-07]. DOI: 10.1055/s-2001-16061. ISSN 09365214. Dostupné z: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-2001-16061>
- [8] JELÍNEK, P. *Tepelná stabilita bentonitů - část I. Slévárenství*. 1995, č. 43, 1., s. 31-35. Brno: Svaz sléváren ČR. ISSN 0037-6825.
- [9] BERGAYA, F. et al. *Handbook of clay science*. Oxford, Elsevier, 2006, ISBN-10: 0-08-044183-1.
- [10] MRAČEK, F., PICEK, P.. *Uhlíkaté přísady, protivýbušná opatření, ADR: Bentonitový zpravodaj* [online]. 1/2010, s. 6 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.keramost.cz/dokumenty/bz-2010.pdf>
- [11] TILCH, W., GREFHORST, C., KLEIMANN, W. (IKO Munerals GmbH, Marl.) *Bentonite als Formstoffbinder-eine praxisnahe Bewertung der Eigenschaften. Giesserei-Praxis*, 2002, č. 2, s. 53 – 62.
- PROSOVÁ, K. *Optimalizace složení formovací směsi při výrobě odlitků z grafitizujících slitin železa*. VŠB-TUO, FMFI, 2018

- [12] *Zkoušení formovacích a jádrových směsí: Metody a postupy. Sborník pro pracovníky pískových laboratoří.* Brno: Formservis, spol. s r.o., 2006. 123 s
- [13] MATT J. – *Understanding the basics of green sand testing. – Modern casting, March 1999* – dostupné z <http://www.refcoat.com/pdf/physical-and-chemical-properties-of-sand.pdf>
- [14] Interní metodika provádění vyplavitelných podílů KASI spol. s r.o.
- [15] ELBEL, T, et.al. *Vady odlitků ze slitin železa: (klasifikace, příčiny a prevence).* Brno: MATECS, 1992.
- [16] OTÁHAL, V. *Vady odlitků, atlas vad železné a neželezné slitiny.* Technicko-ekonomické poradenství, MetalCasting and foundry Consult; Otáhal Vlastislav; Brno; horská 27. Dostupné z: <http://otahalconsult.cz/soucasne-produkty/vadz-odlitku/vady-odlitku-vadz-odlitku/>
- [17] ELBEL, T. *Diagnostika a řízení kvality odlitků (studijní opory)* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/diagnostika-a-rizeni-kvality-odlitku/Elbel_Diagnostika-a-rizeni-kvality-odlitku.pdf
- [18] Sklopísek *Střeleč* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.glassand.eu/>
- [19] H-GLOST [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.h-glost.cz/>
- [20] Grudzeń Las Sp. z o. o. [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.grudzenlas.pl/>

Přílohy

Tabulka 1: Vlastnosti formovacích směsí před provedením experimentu.

Tabulka 2: Vlastnosti formovacích směsí po provedení experimentu.

Tabulka 3: Vyhodnocení zkoušek vyplavitelných podílů po provedení experimentu

Tabulka 1: Vlastnosti formovacích směsí před provedením experimentu.

Datum	Obsah vody	Spěchovatelnost	Vaznost	Střih	Prodyšnost
	%	%	kPa	kPa	jed. SI
10.10.2017	3,06	33,00	187,00	32,00	128,00
11.10.2017	3,29	37,00	183,00	35,00	125,00
16.10.2017	3,33	35,50	192,00	31,00	139,00
17.10.2017	3,46	40,00	191,00	33,00	148,00
18.10.2017	3,24	35,50	194,00	37,00	132,00
19.10.2017	3,30	38,50	184,00	34,00	132,00
20.10.2017	3,22	33,50	193,00	36,00	122,00
24.10.2017	3,19	34,00	198,00	36,00	122,00
25.10.2017	3,19	36,00	186,00	31,00	140,00
30.10.2017	3,40	36,00	190,00	31,00	135,00
31.10.2017	3,73	32,50	191,00	33,00	129,00
01.11.2017	3,42	35,00	213,00	34,00	116,00
02.11.2017	3,32	35,00	164,00	33,00	135,00
03.11.2017	3,27	35,00	200,00	35,00	128,00
06.11.2017	3,29	35,50	178,00	34,00	140,00
07.11.2017	3,39	37,50	183,00	33,00	147,00
08.11.2017	3,34	35,50	186,00	33,00	132,00
09.11.2017	3,19	37,00	186,00	34,00	144,00
10.11.2017	3,16	33,00	196,00	35,00	135,00
13.11.2017	3,45	37,00	208,00	37,00	131,00
14.11.2017	3,29	37,00	190,00	37,00	136,00
15.11.2017	3,29	35,50	203,00	37,00	136,00
16.11.2017	3,30	37,50	206,00	37,00	135,00
20.11.2017	3,18	33,00	201,00	36,00	136,00
22.11.2017	3,24	35,00	208,00	36,00	123,00
23.11.2017	3,29	36,50	195,00	35,00	144,00
24.11.2017	3,29	36,00	202,00	40,00	140,00
27.11.2017	3,27	36,00	179,00	32,00	135,00
28.11.2017	3,44	39,00	196,00	34,00	138,00
29.11.2017	3,23	35,50	193,00	31,00	134,00
30.11.2017	3,23	33,50	191,00	30,00	134,00
01.12.2017	3,42	37,00	202,00	37,00	140,00
04.12.2017	3,65	38,00	201,00	36,00	133,00
05.12.2017	3,44	35,50	203,00	32,00	133,00
06.12.2017	3,39	38,00	198,00	36,00	137,00
07.12.2017	3,20	35,00	191,00	34,00	124,00
08.12.2017	3,27	36,00	205,00	35,00	121,00
11.12.2017	3,40	37,50	204,00	35,00	132,00
12.12.2017	3,52	39,00	203,00	42,00	135,00
Průměr:	3,32	35,96	194,21	34,59	133,49

Tabulka 2: Vlastnosti formovacích směsí po provedení experimentu.

Datum	Obsah vody	Spěchovatelnost	Vaznost	Střih	Prodyšnost
	%	%	kPa	kPa	jed. SI
13.12.2017	3,35	35,00	217,00	38,00	116,00
15.12.2017	3,28	35,50	214,00	36,00	107,00
18.12.2017	3,37	38,00	201,00	34,00	113,00
19.12.2017	3,41	39,00	199,00	36,00	116,00
20.12.2017	3,33	37,50	208,00	34,00	117,00
08.01.2018	3,28	38,00	198,00	36,00	109,00
09.01.2018	3,28	36,50	202,00	35,00	100,00
10.01.2018	3,26	35,50	212,00	32,00	105,00
11.01.2018	3,34	37,00	207,00	34,00	102,00
12.01.2018	3,33	39,50	198,00	38,00	109,00
15.01.2018	3,33	36,50	211,00	33,00	112,00
16.01.2018	3,29	36,00	203,00	34,00	106,00
17.01.2018	3,18	35,00	210,00	33,00	98,00
18.01.2018	3,06	34,00	217,00	38,00	94,00
19.01.2018	3,26	37,00	213,00	47,00	103,00
22.01.2018	3,38	38,00	202,00	40,00	103,00
23.01.2018	3,34	38,00	207,00	43,00	102,00
24.01.2018	3,43	37,50	213,00	37,00	96,00
25.01.2018	3,35	37,50	214,00	42,00	102,00
29.01.2018	3,19	35,50	217,00	39,00	102,00
30.01.2018	3,35	38,50	215,00	40,00	104,00
31.01.2018	3,44	38,00	214,00	45,00	110,00
01.02.2018	3,20	35,00	216,00	45,00	112,00
02.02.2018	3,41	39,50	206,00	44,00	117,00
05.02.2018	3,26	35,50	205,00	36,00	122,00
06.02.2018	3,36	37,50	205,00	42,00	122,00
07.02.2018	3,21	37,00	197,00	41,00	121,00
08.02.2018	3,35	37,00	208,00	40,00	114,00
09.02.2018	3,37	38,50	204,00	40,00	122,00
12.02.2018	3,23	35,50	194,00	35,00	121,00
13.02.2018	3,31	37,00	210,00	37,00	132,00
14.02.2018	3,35	37,00	197,00	36,00	129,00
19.02.2018	3,39	38,50	214,00	39,00	129,00
20.02.2018	3,08	35,50	199,00	38,00	132,00
21.02.2018	3,46	38,60	220,00	35,00	140,00
22.02.2018	3,36	39,00	199,00	32,00	139,00
23.02.2018	3,17	38,50	194,00	35,00	131,00
Průměr:	3,31	37,10	207,03	37,81	113,76

Tabulka 3: Vyhodnocení zkoušek vyplavitelných podílů po provedení experimentu

Vzorek	% na 0,125 mm	% pod 0,125 mm	% VP
13.12.2017	22,47	6,12	13,00
15.12.2017	25,32	7,96	13,50
18.12.2017	26,48	9,14	12,62
19.12.2017	27,56	7,30	12,84
20.12.2017	26,52	8,38	12,78
08.01.2018	25,02	5,82	13,94
09.01.2018	23,40	7,70	13,48
10.01.2018	27,72	14,70	13,32
11.01.2018	27,88	8,86	13,10
12.01.2018	28,10	8,78	13,82
15.01.2018	28,40	10,62	13,30
16.01.2018	27,34	10,38	13,72
17.01.2018	28,46	11,30	13,60
18.01.2018	28,30	10,76	12,76
19.01.2018	27,26	10,46	13,22
22.01.2018	29,06	11,62	10,92
23.01.2018	29,48	12,40	12,88
24.01.2018	27,52	10,34	14,20
25.01.2018	27,54	10,56	13,16
29.01.2018	27,36	10,36	12,86
30.01.2018	26,60	9,94	13,64
31.01.2018	27,56	10,42	12,64
01.02.2018	27,24	10,24	13,02
02.02.2018	26,96	10,28	14,06
05.02.2018	25,52	9,02	13,02
06.02.2018	25,82	8,78	14,84
07.02.2018	25,80	9,24	13,04
08.02.2018	21,84	7,48	12,66
09.02.2018	25,72	8,72	12,48
12.02.2018	25,76	8,68	12,38
13.02.2018	24,94	7,50	12,84
14.02.2018	25,56	8,16	12,04
19.02.2018	24,90	9,00	12,84
20.02.2018	25,60	8,38	13,14
21.02.2018	23,00	8,12	15,16
22.02.2018	29,06	11,62	10,92
23.02.2018	24,60	9,14	12,38
Průměr:	26,42	9,41	13,08